

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт озераедения Российской академии наук

**Румянцев В.А., Дрбкова В.Г., Измайлова А.В.**

## **ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА МИРА**

Санкт-Петербург  
«Лема»  
2012

УДК 556.55 : 502.51

**Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Великие озера мира – СПб: Лема, 2012. – 370 с.**

Экспоненциальный рост народонаселения и вслед за этим рост промышленности и сельского хозяйства приводит не только к катастрофической нехватке запасов пресных вод, но и к ухудшению их качества. Значительные запасы пресных и солоноватых вод сосредоточены в крупнейших озерах мира, расположенных в различных географических зонах и в странах с разным социально-экономическим развитием. Фундаментальной проблемой современной лимнологии является оценка факторов формирования экосистем крупнейших озер и, на фоне их природных особенностей, определение характера происходящих в озерах антропогенных изменений. Решению данной проблемы и посвящена Монография «Великие озера мира». В монографии подробно анализируются экосистемы 50 крупнейших озер мира, выделенных благодаря их значительным размерам, уникальности, социально-экономическому, рекреационному и эстетическому значению. В рассматриваемых озерах сосредоточены наибольшие запасы воды – более 70% мировых запасов озерных пресных вод и более 80% - солоноватых. Оценены природные факторы формирования экосистем этих озер, а также уровень антропогенного воздействия на озера и их водосборные бассейны. На основе обобщения имеющихся материалов была решена основная задача – определить запасы качественной озерной воды в мире, а также выделить озера, где загрязнение и процессы эвтрофирования достигли значительных масштабов. Особое внимание уделялось и водоемам, качество воды которых благодаря успешно проведенным восстановительным мероприятиям удалось в последние десятилетия улучшить. Другой важной задачей являлось выявление причин гибели некоторых крупных озер, и установление масштаба антропогенного воздействия, превышающего предел устойчивости озерных экосистем.



Фото на обложке: В.В. Гузиватый  
Ладожское озеро

*Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 12-05-07034-д.*

ISBN 978-5-98709-536-2

© ФГУН Институт озераведения РАН, 2012  
© Издательство «ЛЕМА», 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема «чистой воды» приобретает в настоящее время планетарные масштабы, в первую очередь это относится к пресным водам. Хотя наша планета характеризуется обилием воды, которая покрывает 71% ее поверхности, объем пресной воды в разных источниках составляет лишь незначительную часть от общего объема водных масс – не более 2.4 % (Wetzel, 1975, 1983). Тем не менее пресная вода является наиболее ценным природным продуктом как для жизнедеятельности человека, так и для животного и растительного мира Земли. Экспоненциальный рост численности народонаселения и вслед за этим рост промышленности и сельского хозяйства приводит не только к катастрофической нехватке запасов пресных вод, но и к ухудшению их качества. Проблема пресной воды становится с каждым годом все более актуальной. Основные ее запасы сосредоточены в следующих источниках: в ледниках - до 68.7%, но здесь они практически недоступны, в грунтовых водах – до 30%, в озерах – до 0.26%, а в реках – всего 0.006% (Babkin, Klige, 2003). Опреснение соленых вод, которое могло бы снять остроту проблемы, является чрезвычайно энергетически затратным процессом, поэтому трудно ожидать масштабного использования этого процесса.

Среди материковых вод важнейшее значение в качестве резервуаров чистой воды принадлежит крупным озерам, в некоторых из них природная пресная вода пока еще является эталоном высокого качества. Поскольку для хозяйственно-питьевых и производственных нужд пресные озера наиболее важны, то, казалось бы, что к категории водных ресурсов должны быть отнесены именно они. Однако, промышленно-производственное значение имеют также воды повышенной минерализации, соленые и рассолы, так как они используются в качестве сырья для извлечения ценных компонентов и в лечебно-оздоровительных целях. Минерализация солоноватых вод составляет 1-10 г/л, соленых – 10-50 г/л и рассолов – свыше 50 г/л (Справочник по гидрохимии, 1989). Из рассолов минеральных озер, кроме поваренной соли, получают соляную кислоту, хлор, хлорную известь, гипс, мирабилит, соду, калий, магний, бром, бор и др. Исходя из этого, при

оценке водно-ресурсного потенциала озер целесообразно рассматривать как пресные, так и соленые озера. Соленые озера по объему водных масс лишь немногим уступают пресным – соответственно 104 и 125 тыс. км<sup>3</sup> (0.008 и 0.009 % от общих мировых запасов воды).

Основные запасы озерных вод сосредоточены в крупнейших водоемах. Для оценки озер по их размеру наиболее часто используют классификацию озер по величине озерной площади, где классы водоемов расположены в геометрической прогрессии со знаменателем равным десяти (Иванов, 1948, Захаренков, 1964). Наиболее крупные озера занимают в этой классификации следующие классы: большие озера с площадью 100-1000 км<sup>2</sup>, очень большие с площадью 1000-10000 км<sup>2</sup>, великие с площадью 10000-100000 км<sup>2</sup> и выделяется одно озеро-море с площадью свыше 100000 км<sup>2</sup>, которое представлено единственным водоемом Каспийским морем. Однако нужно отметить, что не всегда легко определить принадлежность озера к тому или другому классу. Межгодовые и внутригодовые колебания площади озер бывают значительными в зависимости от погодных и климатических изменений. Кроме того, нельзя недооценивать глубину озера и объем его водной массы. Некоторые авторы относят к большим озерам все озера свыше 500 км<sup>2</sup> и с хорошо выраженным термоклином (Serruya, 1990). По континентам большие озера распределены неравномерно. Наибольшее количество озер площадью свыше 500 км<sup>2</sup> находится в Северной Америке (122), затем в Азии (61), Европе (25), Африке (23), Южной Америке (14) (Herdendorf, 1990).

В представляемой монографии к великим озерам отнесены не только озера, площадь которых превышает 10000 км<sup>2</sup>, а таких озер всего 20, но и те, которые имеют большое экономическое, историческое и рекреационное значение для своих стран. Сюда же были отнесены озера, составляющие единые водные системы с великими озерами, а также озера уникальные с научной точки зрения (например, большие озера высоких широт).

По данным полученным в последние годы, общее число озер, включая малые и очень малые площадью 0.001-0.1 км<sup>2</sup>, достигает 304 млн. (Downing et al., 2006). Озера площадью

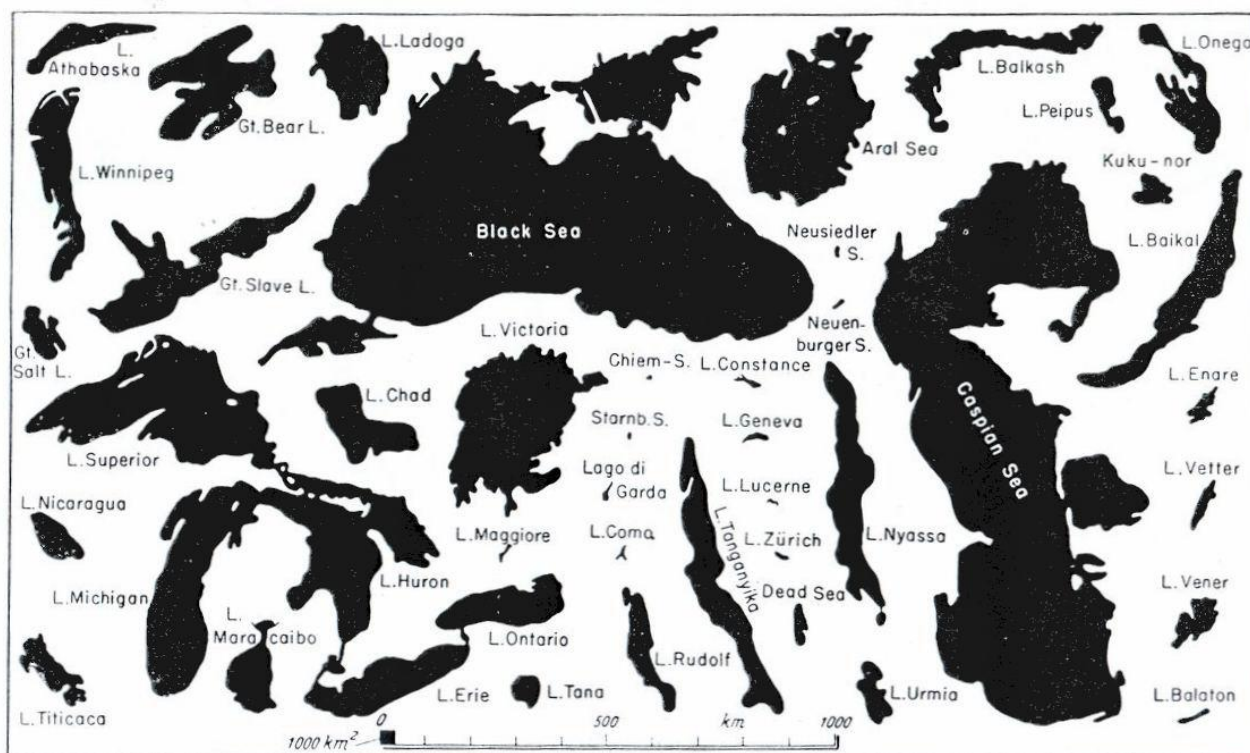


Рис. 1. Крупнейшие озера Земли. Источник: Herdendorf, 1990.

свыше 100 км<sup>2</sup> составляют всего 0.0005% от общего числа озер, а их площадь вместе с озером-морем Каспием превышает 37% от суммарной озерной площади. На рисунке 1 площади наиболее крупных и значимых озер представлены в одном масштабе в сравнении с площадью Черного моря, большинство этих озер представлено в данной монографии.

Великие озера особенно выделяются при сравнении озерного фонда по запасам воды (объемам водных масс). Так, численность озер площадью свыше 500 км<sup>2</sup> не превышает 253, при этом их водные запасы составляют 179.3 тыс. км<sup>3</sup>, то-есть более чем 78% всех мировых запасов озерной воды, а водные ресурсы великих озер с площадью около 10 000 км<sup>2</sup> и выше, численность которых невелика - всего 20 озер, составляют около 70% мировых озерных запасов (Herdendorf, 1990). В оз. Байкал сосредоточено около 20% всех запасов пресной озерной воды, а вместе с другими великими озерами Танганьика, Ньяса, Верхнее эта величина составляет 70%. На Каспийское море приходится 82% всего объема озерной соленых вод. Годовой сток всех рек не перекрывает водные запасы крупных озер. Так, объем водных масс Байкала в 5 раз превышает годовой сток всех рек России (Россия: водно-ресурсный..., 1998).

Озера любых размеров очень важны, если не в глобальном, то в региональном и местном значениях. Тем не менее, поддержание основных водных ресурсов и их качества в крупных озерах — одна из основных экологических проблем. Большие озера существуют в течение длительных периодов геологического времени. Кроме того, они более устойчивы к внешним воздействиям, и в них дольше сохраняются водные ресурсы более высокого качества, которые составляют основное богатство Земли — вековой запас озерной воды.

Представляемая монография «Великие озера мира» посвящена наиболее крупным озерам и озерным водным системам. Эти озера расположены в разных географических зонах и в странах с различным социально-экономическим развитием. Показаны природные факторы формирования экосистем этих озер, а также влияние антропогенных факторов на качество их вод. Не все озера в одинаковой степени изучены, тем не менее, для многих из них были выделены периоды наибольшего негативного изменения их состояния. Во многих странах были предприняты серьезные меры по ликвидации этих негативных последствий и получены достаточно убедительные результаты. Хотя есть



исключения, когда антропогенное воздействие на озера оказалось практически необратимым, что может привести к окончательной гибели таких озер, как Аральское море и Чад.

Озера высоких широт являются наименее изученными, поэтому были особо выделены те, на которых проводились комплексные исследования - это оз. Таймыр и особенно оз. Имандра, а также оз. Восток (Антарктида).

Планируется издать полную серию «Озера мира», в которой будет дано описание озерно-ресурсного потенциала каждого континента со своими уникальными озерами и озерными районами, эффективности их использования. Планируется также оценить антропогенную нагрузку на озера различных районов каждого континента, а также применяемые методы управления водными ресурсами. Монография «Великие озера мира» является первой в этой серии

## **Глава 1. КРУПНЕЙШИЕ ОЗЕРА РИФТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Под рифтами принято понимать крупные линейные впадины в земной коре, образующиеся в местах разрыва коры в результате её растяжения или продольного движения. Протягивающиеся на сотни и тысячи километров рифтовые зоны Земли, являются местом образования наиболее древних и крупных тектонических котловин, занимаемых озерами. Наиболее протяженной является ныне активная система Восточно-Африканских рифтов, огромные расселины-грабены которой простираются более чем на 6 тыс. километров от юго-восточной Турции и северной Сирии до реки Замбези на юге Африки. Ширина образующих её грабенов варьирует от 1-2 до десятков километров. Впадины имеют плоское дно и крутые, обрывистые борта высотой до 1.5-2 км. В пределах Африки Зона Разломов расходится на две ветви: Великие Африканские озера Танганьика, Альберт, Эдуард, Киву расположены по ее западному ответвлению, оз. Турхана (Рудольф) по Восточному, на юге при схождении двух ветвей расположено оз. Ньяса (Малави). Восточно-Африканская Зона Разломов в своём современном виде начала формироваться с олигоцена одновременно с ростом крупных поднятий и горообразованием в восточной части Африки и Аравии, при этом новейшие разломы частично использовали направления более древних разломов, вплоть до докембрийских.

Другой крупнейшей рифтовой системой Земли является Байкальская, так называемый «пассивный рифт» в котором на сегодняшний день практически отсутствует вулканизм и есть только активные тектонические движения и землетрясения. До сих пор нет единого мнения о происхождении Байкальской рифтовой системы, согласно одной из теорий она образовалась в результате сдвигового движения по огромному разлому, пересекающему Евразию с юго-запада на северо-восток, другая теория объясняет ее образование поднятием под рифтом горячей мантии - плюма. Согласно последней теории рифт считается активным, что объясняет достаточно широко развитый четвертичный вулканизм в Монголии. Протяженность Байкальской Рифтовой Зоны составляет около 2.5 тыс км, в ее пределах расположено два крупнейших водоема - оз. Байкал и оз. Хубсугул. Оз. Байкал расположено в самой

глубокой части рифтовой впадины, его наибольшая глубина находится на отметке 1164 м ниже уровня моря.

Отличительной особенностью озер рифтовых областей являются их древность, вытянутость вдоль линии разлома, колоссальные глубины и огромные объемы заключенной воды. Вследствие этого практически все эти озера характеризуются древней богатой и разнообразной флорой и фауной на фоне относительно невысокой продуктивности, и до сегодняшнего дня сохраняют на большей части своей акватории олиготрофный статус. Оз. Виктория, хоть и лежит в пределах Африканской рифтовой зоны, но располагается не в самом разломе. Поскольку оз. Виктория также входит в систему Великих Африканских озер, оно рассматривается в данной главе, хоть его морфометрические характеристики резко отличаются от других рифтовых озер, и, вследствие этого, большинство проходящих в озере процессов имеют совсем иное течение. В отличие от своих соседей оз. Виктория на сегодняшний день глубоко эвтрофный водоем, максимально испытывающий на себе негативные последствия антропогенной деятельности.

### **1.1. ОЗЕРО БАЙКАЛ**

Озеро Байкал – одно из крупнейших пресных озер земного шара, являющегося самым большим хранилищем чистой пресной воды. Исключительная древность этого озера, огромные глубины, своеобразие фауны и флоры, отличающейся глубоким эндемизмом – все это резко выделяет Байкал среди прочих озер и придает ему особый уникальный характер. В 1996 г. оз. Байкал и непосредственно примыкающая к нему территория внесены в список Участков Всемирного природного наследия.

В настоящее время в литературе накопилось огромное число работ, посвященных всестороннему изучению этого озера. Наиболее значимые экспедиции по изучению Байкала начали проводиться уже в XVIII веке и продолжают по настоящее время, причем с 1987 г. на Байкале развернуты крупномасштабные международные исследования. В 1990 г. официально открыт Байкальский международный центр экологических исследований (Грачев, 2002). В последние годы вышел ряд трудов, обобщающих многолетние исследования озера, из них в первую очередь следует

назвать «Атлас Байкала» (1993) и обширный энциклопедический справочник «Байкал. Природа и люди» (2009), в которых отражен уровень современных знаний о Байкале. Тем не менее, Байкал постоянно ставит новые задачи и проблемы, требующие дальнейшего изучения.

### **Физико-географическая характеристика Байкала**

Оз. Байкал расположено в центральной Азии в южной Сибири в районе с резко континентальным климатом, его координаты -  $51^{\circ} 29'$  -  $55^{\circ} 46'$  с.ш. и  $103^{\circ} 43'$  -  $109^{\circ} 56'$  в.д. Оз. Байкал и окружающие его горы возникли в результате разломов и передвижения земной коры, здесь проходит граница крупных тектонических структур. Котловина Байкала является центральным, крупнейшим и древнейшим звеном Байкальской рифтовой зоны, возникшей и развивающейся одновременно с мировой рифтовой системой. Байкальская рифтовая зона протянулась более чем на 2000 км от оз. Хубсулуг на юго-западе до р. Олекмы на северо-востоке при общей ширине от 100-150 км до более 300 км. Само озеро расположено в самой глубокой рифтовой впадине суши: его наибольшая глубина находится на отметке 1164 м ниже, а поверхность воды на 456 м выше уровня Тихого океана. Под современной поверхностью дна озера лежит слой озерных осадков мощностью до 4-5 км. Таким образом, Байкальская депрессия является самой глубокой на континентах Земли (Кожов, 1972). Впадины байкальского типа окружают котловину Байкала практически со всех сторон: с северо-запада – Баргузинская, с юго-запада – Тункинская и Хубсугульская (они служат как бы продолжением Байкальской), с севера – Верхне-Ангарская, с запада – Маломорско-Бугульдейская, Онотская и ряд других более мелких впадин. Горные хребты окружают впадины Байкальской системы. На западном побережье к озеру вплотную подходят Приморский и Байкальский хребты, максимальная высота которых 2678 м, с восточной стороны озеро обрамляют хребты Баргузинский, Улан-Бургасы, на юге и юго-востоке – Хамар-Дабан, вершина которого Мунгу-Сардык («вечно снежный») возвышается до высоты 3491 м над уровнем моря. На вершинах хребтов весьма отчетливо видны следы локального, горно-долинного оледенения. За последние 250 тыс. лет было не менее пяти серьезных похолоданий. Байкальская горная область обладает высокой сейсмичностью и это тоже является одной из характерных особенностей этого района.

Основной этап развития озерной котловины приходится на эоцен-нижний плиоцен (55-5 млн лет назад). Возраст Байкала по геологическим исследованиям оценивают в 20-25 млн лет, когда началось заполнение его котловины. Современные очертания Байкал приобрел сравнительно недавно – может быть, несколько миллионов лет назад (Галазий, 1988, История..., 1990).

Современная котловина Байкала представлена тремя впадинами – Южной, Средней и Северной, которые отделяются подводными порогами и перешейками или седловидными формами рельефа (рис. 1.1). Между Северной и Средней впадинами проходит подводный Академический хребет и перешеек между Ушканьими островами и полуостровом Святой Нос, а между Средней и Южной впадинами располагается Бугульдейка – Селенгинский перешеек. По последним данным, максимальная глубина Северной впадины составляет 903 м, Средней – 1637 м и Южной – 1446 м, а средние глубины – соответственно 576, 853 и 843 м. (Байкал ..., 2007).

Среди озер мира Байкал по площади (31570 км<sup>2</sup>) занимает седьмое место после Каспия, Верхнего, Виктории, Гурона, Мичигана и Танганьики, по глубине (максимальная глубина - 1637 м, средняя -758 м) - первое место, а по объему водной массы (23015 км<sup>3</sup>) - второе после Каспия. Общий объем содержащейся в Байкале воды составляет около 20% от всей пресной воды планеты, находящейся в ее озерах и реках.

В Байкал впадает более 300 рек и речек, из них крупнейшей является р. Селенга. Она собирает воды через свои многочисленные притоки с обширной территории восточной части Центральной Азии. Водосбор р. Селенги составляет 446.9 тыс. км<sup>2</sup> и занимает основную часть общего водосбора оз Байкал -588тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1.2). Из других крупных рек следует отметить р. Верхняя Ангара и р. Баргузин. Со всеми притоками Байкал получает около 57.8 км<sup>3</sup> воды в год. Время, в течение которого происходит полное замещение вод Байкала водами притоков, составляет 300 лет (Кожов, 1972). Сток из озера осуществляется по р. Ангара, которая течет на север и через 1864 км сливается с Енисеем. Река Ангара зарегулирована плотиной Иркутской ГЭС, поэтому в 1963 г. уровень Байкала повысился на 1.36 м. При наличии плотины Иркутской ГЭС вековые колебания уровня озера составляют 3.1 м.

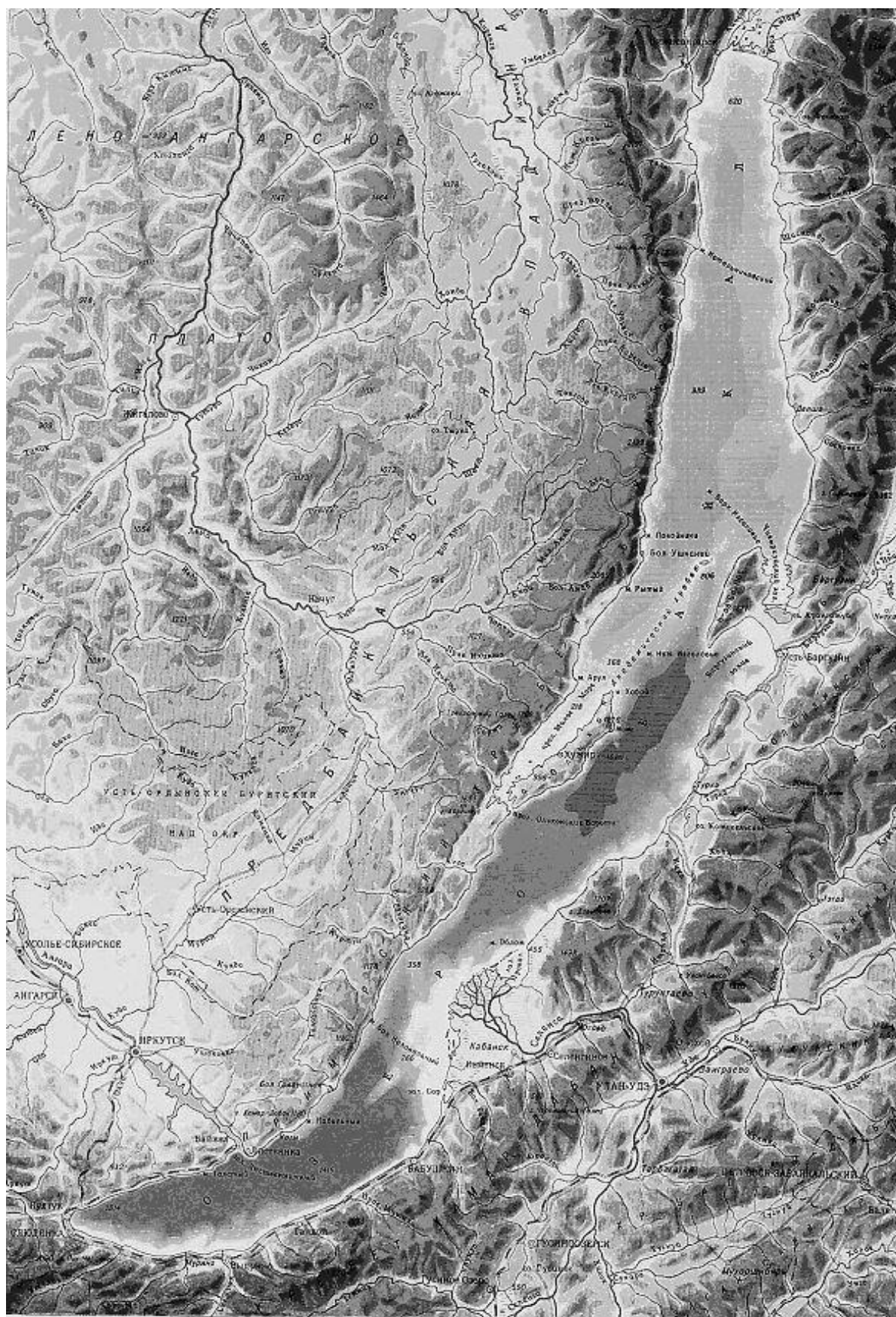
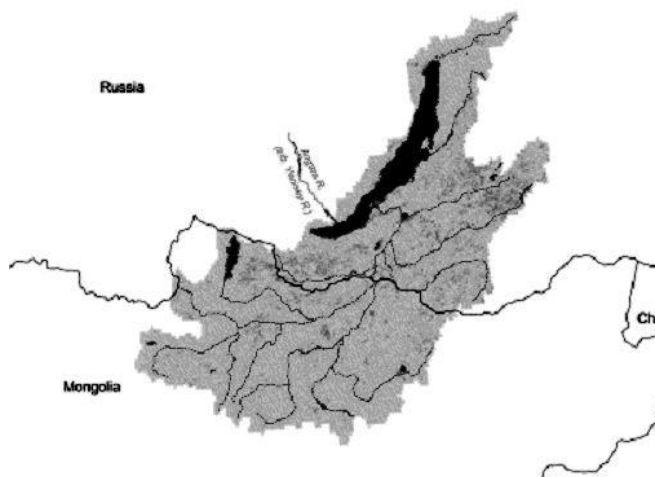


Рис. 1.1. Озеро Байкал. Источник: (<http://baikal.ru/ru/baikal/maps/rezko.html>)





**Рис. 1.2.** Бассейн оз. Байкал. Источник: Watersheds of the World...

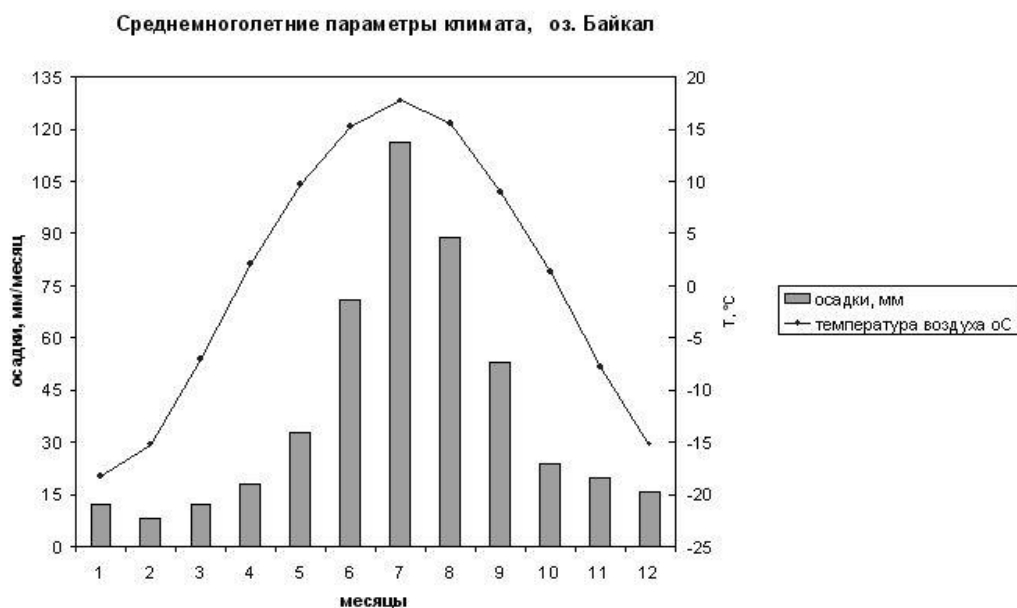
На долю России приходится 53.6% водосбора Байкала, а на долю Монголии – 46.4%. В пределах России 73% площади водосбора Байкала находится на территории Республики Бурятия и Читинской области, где берут начало два крупных правых притока Селенги- реки Чикой и Хилок – 21%. На территорию Иркутской области приходится лишь 6% водосборной площади. Хотя Республика Бурятия занимает значительную территорию водосбора, она не оказывает существенного влияния на экологию Байкала, так как ее промышленный и сельскохозяйственный потенциал невелик. Общее население Республики составляет чуть более 1 млн человек. Потенциальную опасность в качестве источника загрязнения представляет р. Селенга. В верховья р. Селенги поступают загрязнения с территории Монголии. На Селенге расположена столица Республики Бурятия – г. Улан-Уде (370 тыс. чел.), где действуют городские очистные сооружения. На Селенге находится также Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат, однако это предприятие с 1990 г. не сбрасывает в р. Селенгу промышленные стоки. Иркутская область обладает мощным промышленным и сельскохозяйственным потенциалом, ее население составляет 2.8 млн. чел., однако на ее площадь приходится лишь небольшая часть бассейна озера Байкал. Существенными источниками загрязнения, расположенными непосредственно на берегу Байкала в Иркутской области, являются пос. Слюдянка, г. Байкальск (Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат) и пос. Култук, общее население в которых составляет около 50 тыс. чел. (Грачев, 2002).

Климат водосбора оз. Байкал резко континентальный с длинной, очень холодной и сухой зимой и коротким прохладным летом. Средне-многолетние параметры климата в бассейне озера представлены на рис. 1.3. На озере нередко бывает тихая погода, но из долин в сторону озера дуют сильные ветры. Наиболее известны из них баргузин, дующий из долины Баргузина в юго-западном направлении поперек Байкала, и сарма, дующий из долины р. Сармы.

Своеобразие температурного режима оз. Байкал обусловлено не только климатическими условиями, свойственными югу Восточной Сибири, но прежде всего необычной глубиной озера и резким преобладанием глубинной зоны над мелководьем. Ледовый покров в Южном Байкале устанавливается чаще всего 5-10 января и полностью разрушается около 10-20 мая. Северный Байкал покрывается льдом в глубоководной области 1-5 января, освобождается ото льда 1-10 июня, иногда позже. Толщина ледового покрова в Южном Байкале – 0.8-1 м, в Северном – 1.2-1.5 м. Лед на Байкале явление особенное, огромные поля его прозрачны, на малых глубинах можно видеть дно и его обитателей. После вскрытия озера ото льда проходит 40-50 и более дней, прежде чем наступает весенняя гомотермия. В Южном Байкале она приходится в среднем на третью декаду июня, а в Северном – на 10-15 дней позднее. Летнее прогревание открытых районов Южного Байкала обычно отмечается в середине и конце августа и достигает 12-15°С, а нередко и выше. В Северном Байкале температурный максимум сдвинут на более поздний срок и не превышает 10-11°С. Осенняя гомотермия озера сопровождается значительными ветрами, сгонами и нагонами вод, выходом на поверхность глубинных холодных вод.

#### **Гидрохимическая характеристика Байкала**

Вода Байкала отличается исключительной прозрачностью – до 40 м, и только ближе к берегу она обычно уменьшается до 22-25 м. Байкальские воды относятся к числу маломинерализованных. Общая минерализация воды невелика – 100 мг/л, вода гидрокарбонатно-кальциевая. Распределение главных ионов по акватории, по глубине и по сезонам года достаточно постоянное. Это подтвердили и последние исследования Байкала с применением самых современных методов. Нарушения постоянства содержания главных ионов отмечаются локально – вблизи наиболее крупных



**Рис. 1.3.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Иркутск

притоков озера (Байкал..., 2009). Байкальские воды бедны соединениями железа, марганца, алюминия и биогенными элементами. Так, содержание общего фосфора не превышает 9-17 мг/м<sup>3</sup> (Кожова, Бейм, 1993). Отмечаются крайне малые концентрации кремния в воде озера 1.07 мг/л по сравнению со средним содержанием его в притоках (4.4 мг/л). Это связано с тем, что кремний в озере активно потребляется диатомеями. После отмирания они опускаются на дно, образуя в глубоководной области ил с весьма значительной примесью створок диатомей (Кожов. 1972).

Одной из уникальных особенностей озера является высокая концентрация кислорода в воде на всех глубинах. Содержание его изменяется в среднем от 9 до 14.5 мг О<sub>2</sub>/л. Насыщение воды кислородом меняется от 85 до 100%, в периоды интенсивного развития фитопланктона оно достигает 105-115%, а в придонной области не опускается ниже 75%. Концентрация кислорода максимальна у поверхности и снижается с глубиной. В летний и ранне-осенний период максимум концентрации кислорода может быть смещен в более глубокие слои (до 25-50 м). Весной и осенью в придонной зоне усиливаются механизмы водообмена, обеспечивающие поступление сюда вод из верхних горизонтов, обогащенных кислородом. В толще воды ниже 200 м в отличие от верхних слоев сезонные изменения концентрации кислорода отсутствуют.

Величина рН в поверхностном слое воды изменяется в узких пределах 8.2-8.3, а в период развития фитопланктона может достигать 8.5. В придонной области эта величина не опускается ниже 7.45. Для байкальской воды характерно небольшое содержание органического вещества. Так, перманганатная окисляемость изменяется от 1-1.6 мг О<sub>2</sub>/л на поверхности до 0.4-0.5 в придонной зоне. Биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) в среднем за год колеблется в пределах 0.64-0.79 мг О<sub>2</sub>/л, с глубиной оно уменьшается до 0.34-0.47 мг О<sub>2</sub>/л (Вотинцев. 1961, Байкал ..., 2009).

#### **Характеристика биоты Байкала**

Байкал выделяется среди других озер своими удивительными эндемичными фауной и флорой, эволюция которых тесно связана с историей самого озера. В озере насчитывается более 2491 вида и разновидности животных и более 1000 видов растений, из которых 85% характерны только для Байкала. Такое разнообразие водной фауны и флоры трудно найти в любых иных пресноводных бассейнах. Поскольку ежегодно описываются десятки новых видов микроорганизмов, простейших и многоклеточных животных и растений, приведенные цифры биоразнообразия нельзя считать окончательными.

Биологическая продуктивность толщи вод озера выше, чем бентали. Несмотря на большое разнообразие байкальской флоры, в открытой

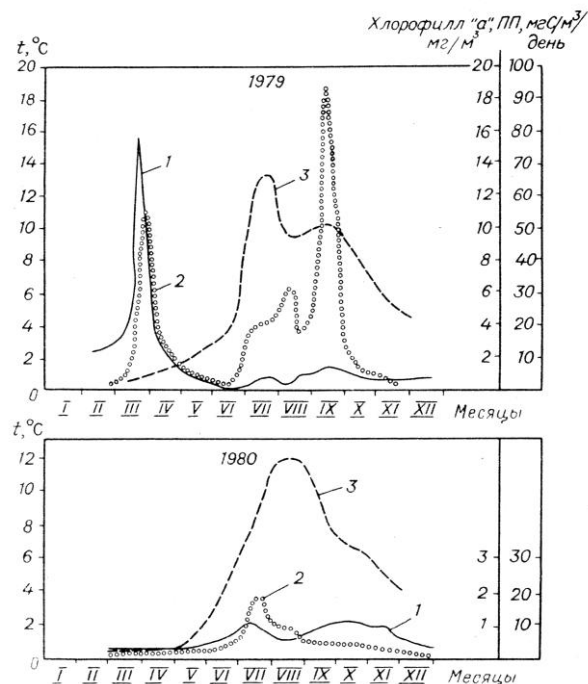
пелагиали озера обитает около 200 видов планктонных водорослей, причем только 10 из них имеют значительную частоту встречаемости, высокое доминирование и играют превалирующую роль в создании первичного органического вещества. По приуроченности максимального развития к тому или иному сезону года водоросли можно разделить на следующие комплексы: 1. подледный ранневесенний комплекс: *Aulacoseira baicalensis* (диатомовые, эндемик), *Aulacoseira skvortzowii (islandica)* (диатомовые, эндемик), *Stephanodiscus meyerii* (диатомовые, эндемик), *Gymnodinium baicalense* (динофитовые, эндемик), *Synedra acus* (диатомовые); 2. летний комплекс: *Chrysidalis* sp. (золотистые), *Chroomonas acuta* (криптофитовые), *Ankistrodesmus pseudomirabilis* (зеленые); 3. осенне-зимний комплекс: *Cyclotella baicalensis* (диатомовые, эндемик), *Cyclotella minuta* (диатомовые, эндемик) (Байкал..., 2009). Численность каждого вида изменяется в очень широких пределах – на несколько порядков.

Особенностью озера является подледное «цветение» воды – массовое развитие диатомовых и перидиней. Для подледного фитопланктона температурный оптимум составляет 0.1-1°С, повышение температуры воды на 4-5° вызывает его отмирание. Подледный максимум развития водорослей наблюдается не ежегодно, но в годы обильного развития их биомасса может достигать 5-6 г/м<sup>3</sup>. В такие годы воды Байкала приобретают эвтрофный характер. От высокой биомассы водорослей в подледный период зависит жизнь не только в данный, но и в последующие годы. Высокие урожаи диатомовых захватывают одновременно значительную или даже большую часть открытого коренного Байкала и обширные мелководья.

В летний период различия в фитопланктоне мелководной прибрежной зоны и коренного открытого Байкала видны очень четко. Комплекс развивающихся в прибрежной зоне водорослей в общих чертах аналогичен летнему фитопланктону обычных озер и водохранилищ. В открытой пелагиали в холодные годы доминируют эндемичные байкальские, а также обычные озерные виды, для которых характерен низкий температурный оптимум.

Сезонная и межгодовая динамика фитопланктона прослеживается и по концентрации хлорофилла «а». На рис. 1.4 приводятся при-

меры урожайного (1979) и неурожайного (1980) годов. Подо льдом содержание хлорофилла «а» в урожайные годы повышается до 6 мг/м<sup>3</sup> (абсолютный максимум 16.5 мг/м<sup>3</sup>), в неурожайные годы оно в десятки раз меньше (максимум 0.56 мг/м<sup>3</sup>). В период открытой воды максимальные концентрации хлорофилла «а» составляют 1-2 мг/м<sup>3</sup>, а чаще встречающиеся величины не превышают 0.5 мг/м<sup>3</sup>. Суточная первичная продукция органического вещества, определенная радиоуглеродным методом, подо льдом в урожайные годы бывает 54.4 мг С/м<sup>3</sup>, в неурожайные – не более 2.90, при открытой воде соответственно до 95.3 и 22.9 мг С/м<sup>3</sup>. О.М.Кожова и А.М.Бейм (1993) объясняют более высокий максимум первичной продукции в период открытой воды по сравнению с подледным большей физиологической активностью летне-осеннего комплекса водорослей, что связано с их более мелкими размерами.



**Рис. 1.4.** Примеры сезонной динамики хлорофилла «а» и первичной продукции в поверхностном слое воды. Южный Байкал. Район пос. Большие Коты: 1- хлорофилл-а, мг/м<sup>3</sup>; 2 – первичная продукция, мгС/м<sup>3</sup> день; 3 – температура воды, °С. Источник: Кожова, Бейм, 1993.

В состав зоопланктона Байкала входят жгутиковые, инфузории, коловратки и ракообразные. Видовой состав зоопланктона по сетным данным представлен 209 видами и подвидами: коловратки – 142, веслоногие – 21, ветвистосые – 45, бокоплавы – 1. Основная часть этих

видов населяет побережье и заливы. В открытой глубоководной части озера отмечено 80 видов коловраток, 11- ветвистоусых, 3 – каланоид, 4 – циклопов и один вид амфипод. Основную роль в зоопланктоне открытого Байкала играет эндемичная копепода *Epischura baicalensis*, являющаяся фитофагом и основным «биологическим фильтром», кроме того она служит пищей пелагических рыб – омуля, голомянок, бычков. Широко распространена также палеарктическая копепода *Cyclops kolensis*. Средний размер тела этих копепод – около 1 мм. Характерна для пелагиали озера своеобразная эндемичная амфипода *Macrohectopus branickii* (юр как называют ее рыбаки) с характерным размером тела порядка 2-3 см, которая населяет, как и эпишура, всю водную толщу озера и является одним из главных пищевых компонентов омуля. Коловратки, в том числе эндемичные, также являются распространенным компонентом зоопланктона.

Кроме эндемизма представителей зоопланктона, следует отметить своеобразие его трофической структуры, выраженной в ведущей роли одного вида – эпишуры, которой принадлежит ключевое место в трофической сети пелагиали озера Байкал. Ее средняя биомасса в начале лета в верхнем 50-метровом слое изменяется по годам от 2 до 11 г/м<sup>2</sup>, а в период максимального развития (летом и осенью) – от 6 до 24 г/м<sup>2</sup>. В составе зоопланктона она составляет в среднем за 1984-1993 годы 59% от общей численности и 77% от общей биомассы, в то же время для *Cyclops kolensis* эти величины составляли 7% и 5% соответственно (Афанасьева, 1998). Средне-многолетняя общая биомасса зоопланктона в слое 0-250 м для периода с 1981 по 2003 г. составляла 16.4 г/м<sup>2</sup>, причем эта величина колебалась от 10-15 г/м<sup>2</sup> в «бедные» годы до 30 г/м<sup>2</sup> - в «богатые».

Важнейшая особенность Байкала – это сложная по сравнению с другими озерами структура донных биоценозов. Они образуют резко различающиеся по структуре бентосные зоны с разным соотношением флоры и фауны и группируются в две принципиально различающиеся макрозоны: незначительную по площади прибрежно-шельфовую с преобладанием продуцентов, преимущественно донных водорослей, и наибольшую по площади глубоководную с преобладанием макробеспозвоночных. Первая зона занимает немногим более 1% общей площади озера, хотя в биологии Байкала она играет существенную роль. В настоящее время из бо-

лее 1000 таксонов водорослей более половины и даже местами две-третьи являются бентосными, жизнь которых тесно связана с дном. Вместе с тем среди беспозвоночных бентосные организмы по числу видов в десятки раз превышают количество свободно перемещающихся видов. Однако биологическая продуктивность бентосных организмов на порядок меньше, чем немногочисленной по числу видов планктонной группы, а первичная продукция органического вещества главным образом обеспечивается планктонными водорослями.

Фитобентос в озере представлен синезелеными, золотистыми, диатомовыми, красными, зелеными и харовыми водорослями, У самого уреза воды широко распространена нитчатая зеленая водоросль *Ulothrix zonata*. Ниже на глубине до 2-2.5 м на твердом грунте доминирует зеленая *Tetraspora cylindrica var. bullosa* и диатомовая *Didymosphenia geminata*. Далее до глубины 15-20 м доминируют по биомассе виды эндемичной зеленой водоросли *Draparnaldioides*. Водоросли встречаются и до глубины 60-115 м – это в основном зеленая *Chaetomorpha baicalensis var. curta*. С глубиной уменьшается видовое разнообразие, но увеличивается число эндемиков – до 46-69%. Биомасса донных водорослей резко уменьшается от глубины 2.5 до 15 м - от 300 до 9 г/м<sup>2</sup>.

Кроме водорослей, в Байкале обнаружено 20 видов цветковых водных растений – рдест, тростник, водяная гречиха, рогоз, роголистник и т.д. Однако они произрастают только в заливах и в дельтах впадающих рек и занимают в среднем около 1 % площади озера. В открытой акватории озера высшие водные растения отсутствуют.

Биомасса беспозвоночных различается не только на разных глубинах, но и на разных типах грунтов. Наиболее богатая жизнь имеет место на каменистых грунтах прибрежной (литоральной) зоны – до 20 м глубиной – как по числу видов фауны, так и по биомассе. Здесь обитает множество видов гаммарид, планарий, олигохет, моллюсков, распространены личинки ручейников и хирономид, мшанки, а также растут целые роци губок. Богата и разнообразна жизнь на мягких грунтах, здесь преобладают моллюски, олигохеты и гаммариды. В прибрежной зоне биомасса макробоентоса варьирует от 4 до 50-80 г/м<sup>2</sup>, иногда более 100. На глубине 20-70 м таксономическое разнообразие беспозвоночных самое высокое, хотя био-



масса снижается до 5-30 г/м<sup>2</sup>. Глубже 70 м дно заселено довольно однообразно и обеднено по видовому составу и биомассе. Здесь живут во множестве олигохеты и гамариды, иногда встречаются моллюски, хирономиды, тубеллярии. Биомасса не превышает 10-15 г/м<sup>2</sup>. На глубине свыше 250 м дно населено своеобразной фауной, что также является замечательной особенностью Байкала. Здесь практически полная темнота, давление 100-160 атмосфер, низкая температура воды. И в то же время здесь существует настоящее царство червей и гаммарид. У гаммарид вместо глаз хорошо развиты антенны как органы осязания и обоняния. Цвет тела бледно-серый или бледно-розовый. Биомасса бентоса здесь составляет всего 1 г/м<sup>2</sup>. Следует отметить, что в Байкале биомасса зообентоса даже в прибрежной зоне круглый год держится приблизительно на одном уровне, колебания ее по сезонам незначительны (Кожов, 1972, Пути..., 1987, Кожова, Бейм, 1993).

56 видов рыб обитает в Байкале. Большую часть из них составляют бычки-подкаменщики (местное название широколобки). Они представлены 32 видами, из которых 29 – эндемики. Бычки, в основном, типичные обитатели дна, заселившие все глубины. Среди них встречаются как крупные (длиной до 35 см), так и самые мелкие формы байкальских рыб (длиной до 5 см). Виды родов *Abysocottus* и *Cottinella* в основном живут на максимальных глубинах и являются наиболее глубоководными рыбами пресных вод земного шара. Два вида бычков – желтокрылый и черногривый – обитают в толще воды.

Самая интересная и во многом еще загадочная рыба Байкала – голомянка. Голомянки – большая и малая – живут только в Байкале, их размеры не более 24 см, они без чешуи и прозрачные, кроме того, они содержат до 35 % целебного жира, богатого витаминами. Это самая многочисленная рыба в Байкале, ее запасы составляют около 150 тыс. тонн, но она не образует скоплений или косяков, поэтому промысловым ловом не охвачена. Голомянка – единственная в наших широтах живородящая рыба. Любое давление в толще воды даже на глубине 1000-1400 метров эта маленькая рыбка переносит вполне благополучно, оптимальная температура для неё – до 5° С.

Наиболее ценным объектом рыбного промысла на Байкале является сиговая рыба – байкаль-

ский омуль. Предполагают, что омуль попал в Байкал сравнительно недавно, вероятно, в ледниковый или послеледниковый период. Он хорошо освоил новую для себя экологическую нишу, претерпел значительные изменения и сейчас может считаться эндемичной рыбой. Различают четыре популяции омуля – селенгинская, чивыркуйская, северобайкальская и посольская. Иногда выделяют еще баргузинскую популяцию, но она практически прекратила свое существование из-за загрязнения реки древесиной. Осенью во время нереста каждая популяция идет в свою реку. Сейчас на Байкале работают рыбопроизводные заводы, где в искусственных условиях выращивают рыбу. Это помогло увеличить общую биомассу омуля к 1990-м годам до 20-26 тыс. т, а возможные уловы – в пределах 2-3 тыс. т. Надо отметить, что промышленный лов постепенно сокращается, но увеличивается любительский лов по лицензиям. Кроме омуля, к промысловым рыбам относятся также байкальский сиг, плотва, елец, окунь, щука, налим, язь, карась. Ранее промысловыми были байкальский осетр, таймень и ленок, которые в настоящее время вошли в списки редких и исчезающих видов.

Большой интерес вызывает эндемичный байкальский тюлень или нерпа, единственное водное млекопитающее, живущее в Байкале. Питаются они в основном голомянками (80% рациона) и бычками. Существует мнение, что байкальская нерпа произошла от общего с северным кольчатый тюленем предка и проникла из Ледовитого океана по Енисею и Ангаре в ледниковый период. По другой версии нерпа проникла в озеро по Лене, в которую был сток из Байкала. Нерпа способна нырять на глубину до 300 метров, при нырянии у нее прекращаются обменные процессы, и она переходит на внутриутробное дыхание, а стенки кровеносных сосудов при этом освобождаются от холестерина. Максимальная продолжительность пребывания под водой – 65 мин, но обычно она бывает под водой до 20-25 мин. Максимальная скорость плавания у нерпы достигает 25 км в час. Численность зверя оценивается в 80-100 тыс. голов. Промысел ее ведется издавна, но в настоящее время он не очень развит, промысловые артели ежегодно добывают до 2.5 тыс. голов.

### **Источники и уровень загрязнения Байкала**

Интенсивное развитие народного хозяйства в

Байкальском регионе началось в 1950-х годах. В 1956 г. появился мощный антропогенный фактор – зарегулирование р. Ангары плотиной Иркутской ГЭС, что отразилось на уровненом режиме Байкала и сказалось на состоянии прибрежных районов озера. Тогда же появились первые источники загрязнения в связи со строительством Транссибирской железной дороги. Начались берегоукрепительные работы, которые проводились в районе выхода Байкало-Амурской магистрали на побережье, а также в районе Южного Байкала, где проходит линия Круглобайкальской железной дороги. Усилилось влияние химизации сельского хозяйства, транспортных перевозок, коммунального хозяйства, роста туризма. В 1966 г. был пущен в эксплуатацию целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБЛ) и был построен город Байкальск, которые расположены на берегу озера, что привело к поступлению дополнительных минеральных и органических веществ со сточными водами. В 1974 г. был пущен в эксплуатацию Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК) в 60 км от устья р. Селенги. Нужно отметить, что в настоящее время (с 2008 г) Байкальский ЦБК перешел на новую тех-нологию, почти прекратив сбрасывать сточные воды, а Селенгинский ЦКК уже с 1990 г. не сбрасывает сточные воды в р. Селенгу. Тем не менее, весь водосбор озера энергично развивается в социально-промышленном плане, здесь почти 159 промышленных предприятий (алюминиевые, целлюлозно-бумажные комбинаты и т.д.), что не может не сказаться на уровне загрязнения Байкала.

Как было уже отмечено антропогенные загрязнения пока существенно не изменили содержания главных ионов в водах Байкала, оно практически постоянное на всех глубинах и одинаково в Северной, Средней и Южной котловинах Байкала за последние столетия. Все это объясняется тем, что Байкал является чрезвычайно инерционной системой (Грачев, 2002).

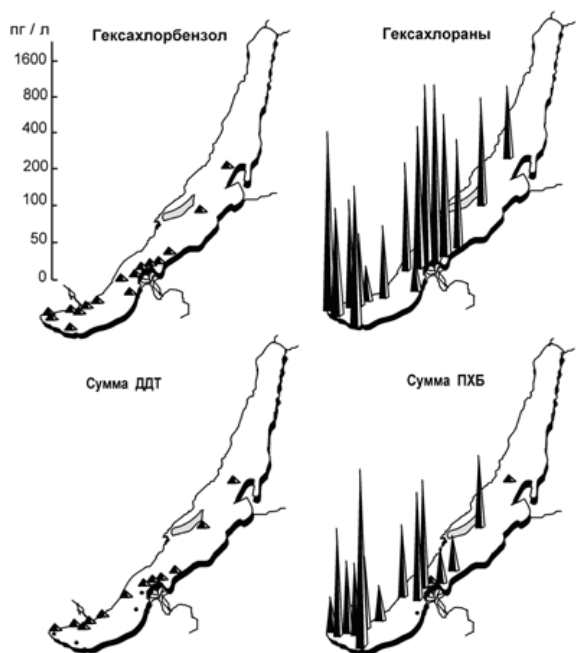
Большое количество чужеродных для Байкала примесей поступает с водами реки Селенги, и они интенсивно перерабатываются и захораниваются в так называемых «барьерных зонах», в области смешивания речных и озерных вод, под действием физических и биологических факторов.

Содержание тяжелых металлов как в воде, так и в биоте Байкала практически не изменилось по сравнению с периодом, предшествующим бурному экономическому развитию Сибири (Вет-

ров, Кузнецова, 1997). Концентрация тяжелых металлов в водах Байкала невелика, поэтому их существенного накопления в биоте не происходит. Содержание цинка, меди и свинца в мышцах омуля во много раз меньше гигиенических нормативов, установленных для пищевых продуктов.

В настоящее время особое внимание уделяется исследованиям загрязнения озера токсическими органическими веществами и в первую очередь хлорорганическим соединениям, многие из которых производятся и применяются в больших количествах. Эти вещества обладают выраженной мутагенной и канцерогенной активностью и накапливаются в организмах. К их числу относятся такие пестициды, как гексахлоран и ДДТ, а также использовавшиеся в промышленности в больших масштабах полихлорбифенилы (ПХБ). Полихлорированные дибензфураны (ПХДФ) и дибенздиоксины (ПХДД) образуются при горении любой органики в присутствии хлора в любой форме. Поскольку лесные и другие пожары происходили и происходят постоянно, эти вещества нельзя отнести к разряду чужеродных соединений, но поскольку они сверхвысокотоксичны, определение их содержания в воде озера должно быть постоянным. Надо отметить, что многие из хлорорганических соединений найдены в Байкале, хотя и в очень небольших концентрациях (рис. 1.5). К сожалению, пока неизвестны источники поступления этих веществ, в числе которых могут быть и конкретные предприятия региона. Для населения Байкальского региона представляет интерес содержание хлорорганических соединений в омуле и других рыбах. Эти концентрации невелики и не создают непосредственной опасности для здоровья людей (Грачев, 2002).

В самом Байкале есть источники постоянного поступления загрязняющих веществ. Это прежде всего метан, который образуется из органического вещества в осадках озера и выделяется со дна в водную толщу в виде факелов из пузырьков метана, которые достигают высоты в несколько сотен метров. Если около факелов концентрация растворенного метана может быть высокой, то в среднем по озеру она остается фоновой, что обусловлено высокой активностью метанотрофных бактерий. В Байкале также имеются значительные природные нефтепроявления. Несмотря на постоянное поступление нефти, она также быстро разрушается в самом озере нефтеокисляющими бактериями.



**Рис. 1.5.** Распределение хлорорганических соединений в поверхностных водах Байкала.  
Источник: Iwata et al., 1995.

Кроме химического загрязнения, озера часто подвергаются биологическому загрязнению, связанному с вселением новых видов в водные экосистемы, которые при благоприятных условиях могут перестраивать всю сложившуюся в озере систему трофических связей. С проблемой биологического загрязнения Байкала связано появление в нем донного высшего растения – элодеи канадской. На ее массовое развитие в прибрежной зоне и заливах обратили внимание еще в 1970-х годах. Элодея – многолетнее растение из семейства водокрасовых. Ее родина – Северная Америка. Трудно сказать, как она появилась в Байкале, возможно вместе с акклиматизированными в Байкале рыбами из приуральских озер, где массовое развитие элодеи канадской было отмечено еще в начале XX века. В Байкале элодея в настоящее время встречается в значительных количествах на многих мелководьях практически по всему периметру озера, образуя сомкнутые поселения с покрытием 100%. Плотность её зарослей может достигать 5 кг/м<sup>2</sup>. Отмечено, что элодея может подавлять развитие рдестовых сообществ.

Вселение новых видов рыб в озера бассейна Байкала для повышения их рыбопродуктивности осуществлялось начиная с 1930-х годов. Сейчас из таких вселенцев постоянно встречаются в самом Байкале пелядь, восточный лещ, амурский сазан, амурский сом и ро-

тан-головешка. Как правило, они проникли и освоились в прибрежном мелководье и приобрели довольно существенное значение в рыбном хозяйстве. Исключение составляет лишь ротан-головешка, который был случайно завезен при акклиматизации сазана. В 1970-х годах он отмечен в дельте Селенки и в настоящее время стал наиболее многочисленной рыбой в протоках Селенги и в заливах Селенгинского мелководья и периодически встречается на ранее не свойственных ему глубинах – до 75 м. Он является всеядной рыбой. Специалисты считают, что ротан представляет определенную опасность для экосистемы Байкала, в отличие от других вселенцев (Кожова, Бейм, 1993, Граев, 2002). Последствия вселения новых видов чрезвычайно трудно прогнозируемы, поэтому необходимо предотвращать возможное биологическое загрязнение озера.

В настоящее время Байкал все еще сохраняет свои природные качества, однако антропогенное воздействие на него усиливается, особенно на отдельные его районы, и возникает напряженная обстановка во взаимоотношениях человека и озера. Байкал необходимо охранять, но эта работа сопряжена с огромными финансовыми расходами, вызывает определенную задержку социально-экономического развития территории. Уникальность экологической системы озера Байкал недавно признана юридически. В 1996 г. озеро и примыкающая к нему территория были включены в Список участников природного наследия ЮНЕСКО. В 1999 г. принят закон Российской Федерации «Об охране озера Байкал».

Закон РФ «Об охране озера Байкал» стал первым опытом решения экологических проблем с помощью ограничения хозяйственной деятельности. Кроме действующих запретов на территориях национальных парков и заповедников Прибайкалья, в природоохранной практике появилась новая категория особо охраняемых природных объектов – Центральная экологическая зона Байкальской природной территории, которая включает акваторию озера, его бассейн и земли за пределами бассейна – до 200 км на северо-запад от него. Сейчас важно не только сохранить природные ландшафты этой территории, но и развивать экологически безопасную экономику. Охрана Байкала и рациональное использование его ресурсов – предмет пристального внимания и комплексных исследований десятков институтов Сибирского отделения Российской Академии наук и ряда университетов.

## 1.2. ОЗЕРО ХУБСУГУЛ

Озеро Хубсугул расположено на севере Монголии и является вторым по величине пресноводным озером Центральной Азии. Его координаты: 50°27'-51°37'с.ш.; 100°10'-100°47' в.д., урез воды находится на высоте 1645 м над уровнем моря. В переводе с тюрского «хубсугул» означает «озеро синей воды». Оз. Хубсугул принадлежит к наиболее древним озерам мира, его возраст оценивается разными авторами от 2 до 5 млн. лет. Оно занимает древний грабен, ограниченный с севера субширотным хр. Мунку-Сардык, а с запада - крутыми склонами хребтов Хорьдыл-Сарьдаг и Баян-Ул, абсолютная высота которых достигает 3000-3200 м. Восточный берег озерной котловины ограничен относительно пологими склонами высоко лежащего полоскогорья, образованного молодыми вулканогенными породами. Ее отдельные вершины поднимаются до 2000 м. В южной части Хубсугульская котловина сужается, и озеро образует Хатгальский залив, из которого вытекает р. Эхин-Гол (Лимнология ..., 1994). Это один из трех параллельных тектонических бассейнов, расположенных в южной части Байкальской Рифтовой системы.

Площадь оз. Хубсугул составляет 2760 км<sup>2</sup>, протяженность - 136 км при ширине от 20 до 37 км (Лимнология ..., 1994). Средняя и максимальная глубины - 138 и 262 м, соответственно. Амплитуда ежегодных колебаний уровня - 0.5-2 м. Объем заключенной воды - 381 км<sup>3</sup> (Mitamura et al., 2010). На озере четыре острова, самый крупный из которых, о-в Далайн-Хуйс-Арал площадью около 7 км<sup>2</sup>, расположен в центральной части водоема и имеет округлую форму (рис. 1.6). В его центре возвышается гора, заросшая лиственным лесом, и поднимающаяся над уровнем воды на 174 м. Следующими по величине являются острова Елисин-Хупсун и Бага-Крй.

Оз. Хубсугул питают 96 рек и ручьев, большинство из которых носят временный характер и наполняются водой на непродолжительный период (до 1-2 месяцев). Количество притоков на восточном берегу в 2-3 раза больше, чем на западном. Наиболее крупными притоками с северной стороны являются - рр. Их-Ховогол, Ханкагол, Манкарингол, с восточной - р. Их-Долбайгол, с южной - р. Алак-Тсаргол, с западной - рр. Джикликгол, Увур-Хашимгол, Ходонгол. В зимний период многие реки перемерзают до дна, за исключением тех, кото-

рые подпитываются родниками. Отток из озера происходит по р. Эхин-гол, притоку р. Селенги, впадающей в оз. Байкал.

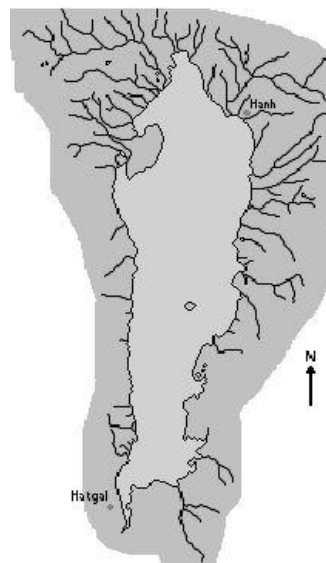


Рис. 1.6. Озеро Хубсугул. Источник: LBRI&ILECF. 1991.

Комплекс ландшафтов вокруг озера уникален и неподражаем по своей красоте. Практически весь бассейн озера является Национальным Парком. Это переходный район от зоны среднеазиатских степей к сибирской тайге. Водосбор находится в регионе с широким распространением вечной мерзлоты, которая опускается в ряде районов на глубины 100-200 м. Имеется ряд чередующихся зон растительности: степь, лесостепь, тайга, лесотундра и альпийская тундра. Степные участки расположены преимущественно в нижней части южных склонов, где отсутствует мерзлый слой, обеспечивающий в течение летнего сезона растительность дополнительной влагой. Склоны северной, восточной и западной экспозиции занимают таежные леса, под которыми находится около 55% площади водосбора. Основной породой (90-95%) является лиственница (*Larix sibirica*), также распространена береза (*Betula platyphylla*) и кедр (*Pinus sibirica*). В плоских понижениях речных долин находятся степные ландшафты, сочетающиеся с заболоченными землями и прибрежной растительностью. Альпийская зона начинается на высоте от 2300 м и характеризуется лишайниково-моховой растительностью. Максимальной высоты в пределах водосбора достигает хребет Мунку-Сардык, 3491 м, самая высотная часть Восточного Саяна. На склонах Мунку-Сардыка известны четыре ледника. По

горному узлу Мунку-Сардык проходит российско-монгольская граница.

На водосборе проживает 60 разновидностей животных и произрастает около 750 видов древесной, кустарниковой, моховой и лишайниковой растительности, из которых около 20% эндемики. Среди млекопитающих здесь обитают архар или горный баран (*Ovis ammon*), сибирский горный козел (*Capra sibirica*), кабарга (*Moschus moschiferus*), бурый медведь (*Ursus arctos*), ирбис (*Uncia uncia*), кабан (*Sus scrofa*), сибирский лось (*Alces alces pfizenmayeri*), северный олень (*Rangifer tarandus*).

### **История заселения и роль озера в жизни окружающих народов**

Водосбор озера заселялся с древних времен, однако, несмотря на это, оз. Хубсугул остается одним из наименее заселенных (после озер Восток и Таймыр) крупнейших озер мира. Суровый климат региона неблагоприятен для активного освоения территории. Морозные малоснежные зимы ограничивают развитие сельского хозяйства, так что на протяжении практически всей истории заселения, на водосборе проживало весьма ограниченное количество людей, единственным занятием которых было кочевое животноводство. В регионе разводят овец, монгольского яка и лошадей. Многовековой уклад жизни сохранился до сегодняшнего дня. Пейзажи вокруг озера представляют собой практически девственную природу, лишь в самые последние годы затронутую антропогенем. Вокруг озера появились предприятия горно-добывающей промышленности и два небольших города.

Озеро играет важную роль в жизни людей, проживающих на его берегах. Оно является источником питьевого и технического водоснабжения, кроме того, в нем сосредоточено около 70% всех запасов пресной воды Монголии. Важнейшее значение оз. Хубсугул связано с тем фактом, что оно лежит в верховьях бассейна оз. Байкал, и вытекающая из него р. Эхин-гол является притоком р. Селенги, впадающей в это величайшее на Земле озеро. И оз. Байкал и оз. Хубсугул принято рассматривать как неотъемлемое всемирное достояние, священную и невозполнимую ценность человечества.

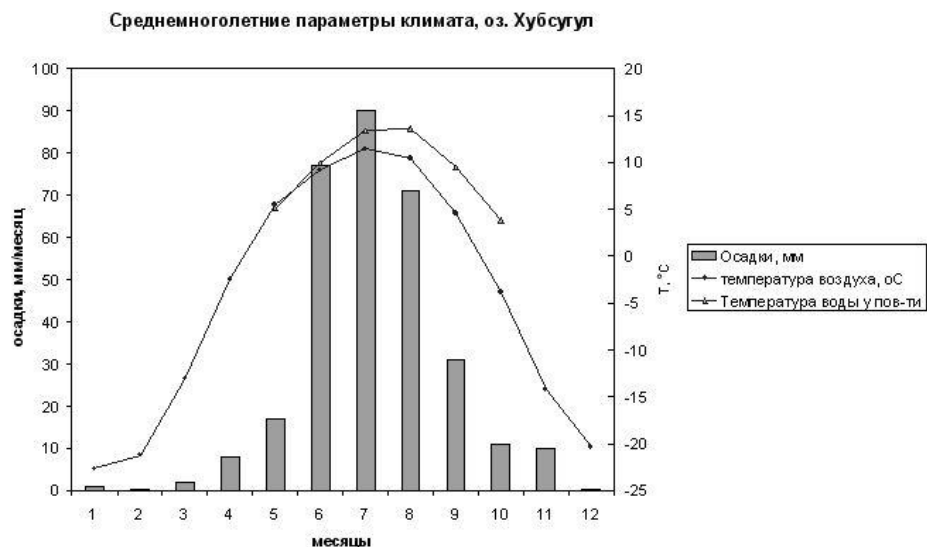
### **Климат. Характеристики термического режима**

Климат региона сугубо континентальный, ха-

рактеризующийся большими амплитудами температур в течение года от  $-49^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+35^{\circ}\text{C}$  летом. В зимнее время над регионом стоит Сибирский антициклон, определяющий ясную и морозную погоду, так что зима продолжительная, холодная и малоснежная. Средняя температура января  $-23 - -25^{\circ}\text{C}$ . Весной антициклон разрушается и в регионе формируется область низкого давления. Это период активного формирования циклонов. В регионе стоит прохладная, облачная погода. В теплый период выпадает около 80% годовых осадков с максимумом в июле и августе. Средняя температура июля  $+13^{\circ}\text{C}$  (Cherkasov et al., 1973). Количество годовых осадков небольшое и изменяется в пределах от 300 до 430 мм (рис. 1.7), основная их масса выпадает в течение теплого сезона с максимумом в июле, когда их количество может составлять до 120 мм.

Многолетние наблюдения за климатическими параметрами, проводящиеся в бассейне озера, свидетельствуют о наблюдающемся за прошедшие 40 лет повышении температуры воздуха, которое составляет около  $2^{\circ}\text{C}$ , и, прежде всего, проявляется в зимние и весенние месяцы. Кроме того, в течение последних 10 лет наблюдалось удлинение вегетационного сезона, составившее приблизительно один месяц. Поскольку с ростом температуры происходит увеличение испарения, изменения в климатических условиях аридной Монголии могут неблагоприятно сказаться на развитии сельского хозяйства. К тому же, постепенное оттаивание вечной мерзлоты, как результат повышения средних температур, может привести к снижению запасов влаги в деятельном слое почвы, тогда как при обычных условиях протаивающая лишь в теплый сезон мерзлота обеспечивала растения дополнительной влагой (Asia Center..).

Озеро димиктическое. Суровые климатические условия, большая глубина и особенности строения котловины обуславливают медленный, незначительный и неоднородный по акватории прогрев водных масс в весенне-летний период. (Лимнология ..., 1994). Лед начинает сходить в мае, и озеро полностью освобождается ото льда к середине июня. Летние температуры воды поднимаются до  $11-14^{\circ}\text{C}$ , лишь в неглубоких бухтах вода прогревается до  $18^{\circ}\text{C}$ . Температурная стратификация в безледный период отмечается лишь в верхнем 50-метровом слое, ниже которого наблюдается гомотермическое состояние водных масс (Цэрэнсодном, 1976). С конца октября на озере появляется шуга и



**Рис. 1.7.** Климатические параметры оз. Хубсугул, ст. Natgal, по данным ИЛЕС.

блинчатый лед, полное замерзание обычно происходит в конце ноября. Толщина льда составляет около 1.4 м, так что по льду прокладывается автомобильный зимник. По сравнению с оз. Байкал на льду оз. Хубсугул меньше снега и трещин, но бывают мощные надвиги льда у западного берега, высота которых достигает 5 метров. Восточный берег из-за сильных западных ветров при замерзании озера отличается наплесковым льдом, покрывающим скалы местами до высоты 10–12 м.

#### **Характеристики водного режима и водного баланса**

Площадь бассейна оз. Хубсугул лишь в 1.8 раза превосходит площадь его водной поверхности. В связи с этим, в водном балансе озера значительная роль принадлежит осадкам (45%). Согласно расчетам, выполненным Cherkasov et al., (1973), осадки на поверхность озера составляют  $0.88 \text{ км}^3/\text{год}$ , поверхностный приток -  $0.95 \text{ км}^3$ . Испарения с водной поверхности оцениваются в  $1.42 \text{ км}^3$  и отток по р. Эхин-гол -  $0.62 \text{ км}^3$ . Невязка баланса составляет около 8% и, согласно мнению Cherkasov (1973), включает подземный приток, недоучет конденсации и ошибки расчетов.

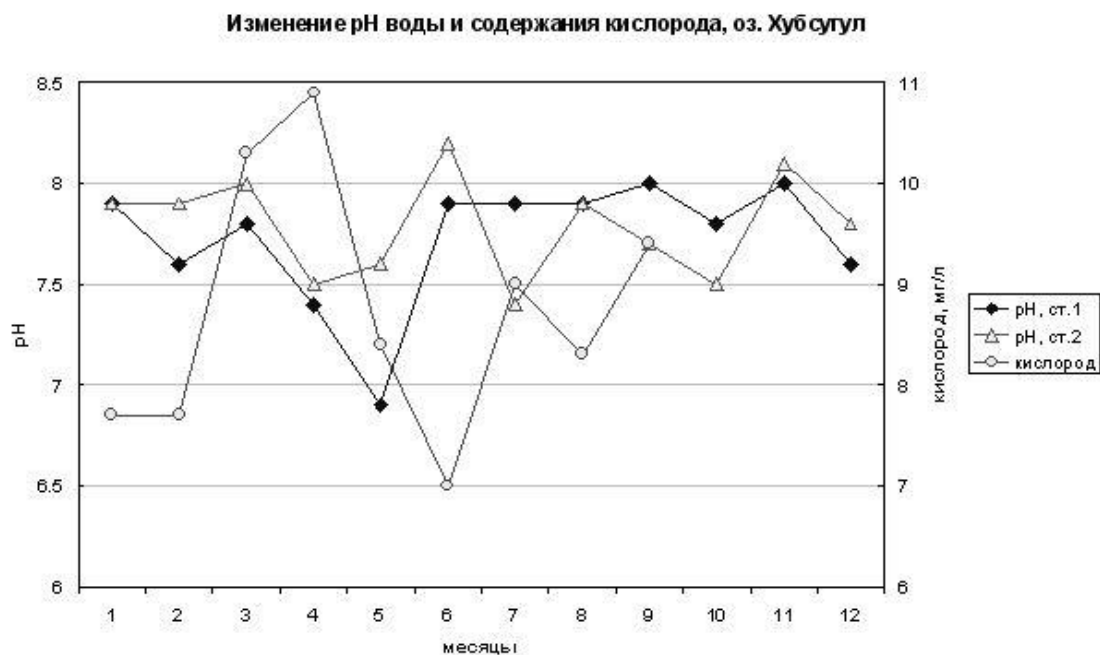
Внутригодовые колебания уровня воды имеют четкий сезонный ход. Его повышение начинается в мае и связано со снеготаянием на водосборе, в течение лета, за счет выпадения основной доли осадков, поддерживается высокий уровень воды, его максимум обычно приходится на конец лета - начало осени. Расходная

часть начинает превосходить приходную часть баланса с конца октября. В течение всей зимы и начала весны наблюдается низкий уровень воды (Cherkasov et al., 1973). Резких перепадов в течение года обычно не наблюдается, общая амплитуда составляет 0.6-1 м.

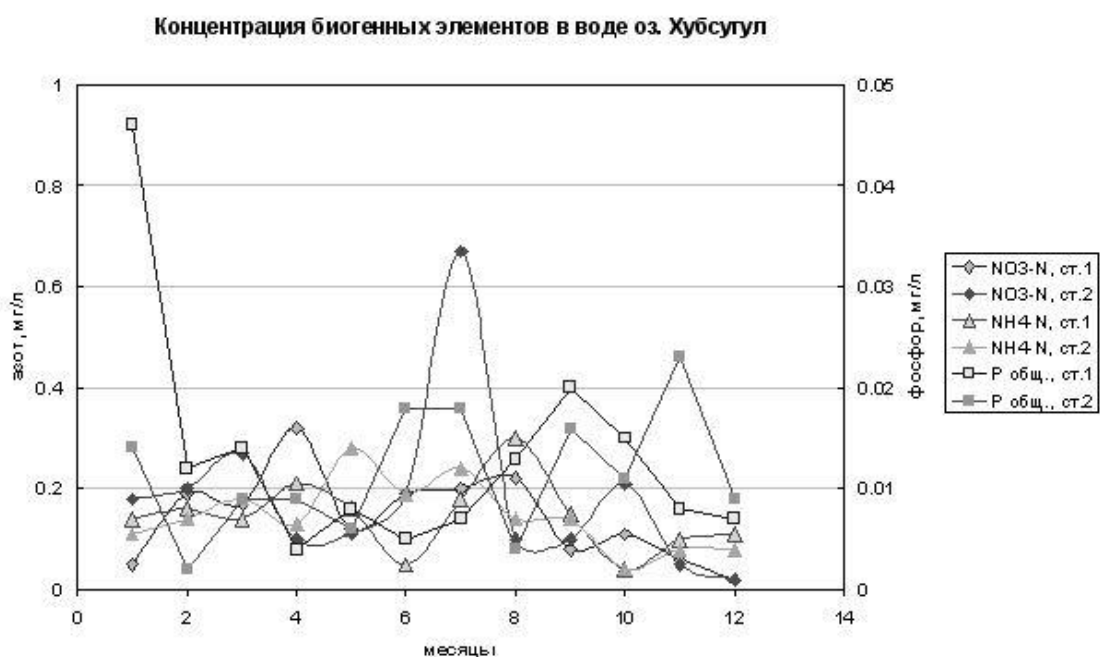
С начала 2000-х гг. наблюдается некоторое повышение уровня воды озера и снижение его годовой амплитуды.

#### **Основные характеристики качества вод**

Главной особенностью и ценностью оз. Хубсугул является его кристально-чистая вода. Прозрачность очень высокая и составляет в центральной части 22-24 м, а у побережья 13-15 м, наиболее высокие значения наблюдаются в зимние месяцы. Цвет в прибрежных районах зеленовато-синий, в центральных - голубой. Показатель кислотности среды рН - 6.9-8.2 (рис. 1.8). Минерализация низкая, в поверхностном слое она составляет от 65 до 280 мг/л при среднем значении 220 мг/л (Лимнология ..., 1994). Благодаря распространению в южной и юго-восточной части бассейна известняков и доломитов наблюдается повышенное содержание в воде карбонатов и гидрокарбонатов, их масса превышает 90% от общей массы анионов. Среди катионов преобладает  $\text{Ca}^{2+}$  (около 55% от суммы катионов), магний (около 35%). Общая жесткость воды в летний период изменяется в пределах 0.34-2.5 мг-экв./л, а в зимний - 1.1 - 3 мг-экв./л (Лимнология ..., 1994).



**Рис. 1.8.** Гидрохимические параметры воды оз. Хубсугул по данным ИЛЕС.



**Рис. 1.9.** Концентрация биогенных элементов в оз. Хубсугул по данным ИЛЕС.

Концентрация растворенного кислорода высокая по всему водному столбу, и слабо изменяется в течение года. Даже подо льдом она сохраняется у поверхности на уровне 9.88-11.4 мг/л (85-95% насыщения), а на глубине 100-200 м, у дна, - 9.06-9.53 мг/л (83-86% насыщения). В летнее время года у поверхности

концентрация составляет 8.1-11.4, а у дна – 9.84-10.14 мг/л. (Kozhova et al., 1994). Перманганатная окисляемость не превышает 5 мгО/л. Содержание биогенных веществ низкое. Концентрация нитратов (NO<sub>3</sub>-N) составляет 20-300 мкг/л, более высокие значения наблюдаются весной и летом; аммония (NH<sub>4</sub>-N) – 50-300 мкг/л; общего фосфора - 4-40 мкг/л (рис. 1.9).



Средняя концентрация хлорофилла-а - 0.35 мкг/л (LBRI&ILECF. 1991). По всем показателям озеро относится к классу олиготрофных водоемов.

### **Основные биологические особенности**

Согласно (LBRI&ILECF. 1991) в озере выявлено 55 видов плавающих макрофитов, 33 погруженных, 2 вида мха и 10 видов фитопланктона. Среди воздушно-водных макрофитов доминируют: злаки (Poaceae), астровые (Asteraceae), осоковые (Cyperaceae).

В фитопланктоне преобладают диатомовые и зеленые водоросли, также есть несколько представителей динофлагеллят, золотистых, сине-зеленых и криптофитовых водорослей (Mitamura et al., 2010). Среди зеленых представлены характерные для большей части Сибирского региона *Dictyosphaerium pulchellum*, *Monoraphidium* sp. из динофлагеллят - *Peridinium bipes*, (Бондаренко, 2006). Также фитопланктон представлен диатомовыми - *Cyclotella ocellata*, *Amphora pediculus*, *Fragilaria leptostauron*, *Fragilaria pinnata*, *Achnanthes* spp, *Caloneis* sp., *Cocconeis* sp., *Cymbella* sp., *Denticula* sp., *Diatoma* sp., *Didymosphenia* sp., *Diploneis* spp., *Epithemia* sp., *Gomphonema* spp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* spp., *Neidium* sp., *Nitzschia* spp., *Pinnularia* spp, *Simonsenia* sp., *Surirella* sp., *Synedra* sp. (Генкал и др., 2006); зелеными: *Oocystis sobitaria*, *O. mongolica*, *Crucigenia quadrata*, криптофитовыми - *Chroomonas* sp., среди динофлагеллят - *Glenodinium* sp., *Gymnodinium fuscum*, *Peridinium* sp. Первичное производство низкое и составляет 2-5 мгС/м<sup>3</sup> день (Kozhova et al., 1994). Биомасса фитопланктона изменяется в пределах 20-450 мкг/л (LBRI&ILECF. 1991). По всей видимости, одним из лимитирующих производство биогенных элементов является фосфор, содержание которого в воде очень небольшое.

Общая численность бактерий в воде невысокая и находится в пределах 0.11-0.73 млн.кл./мл при среднем значении 0.35 млн.кл./мл. Наибольшее их количество обнаруживается в верхних слоях центрального глубоководного района. Распределение бактерий по вертикали большую часть вегетационного сезона почти равномерное. Максимум развития микроорганизмов приходится на июль (Путянина, 1973).

Озерная фауна представлена как минимум 287 видами (Kozhova et al., 2000). По разнообразию

она значительно уступает родственной ей фауне оз. Байкал, особенно среди бокоплавов семейства Gammaridae, моллюсков, малощетинковых червей (Oligochaeta) и триклад (Tricladida). Кроме того, ей характерна значительно более низкая степень эндемизма (10-20%). Общими видами, встречающимися как в обоих озерах, так и характерными для Сибирской и Евразийской фауны, являются нематоды, две разновидности малощетинковых червей, три разновидности комаров-звонцов, и одна - морских клещей. Среди аборигенных байкальских видов - 3 вида круглых червей семейства Mermithidae, доминирующая в пелагиальном зоопланктоне копепода - *Mixodiptomus kozhovi* и один моллюск подрода *Achoanomphalus*. В зоопланктоне среди веслоногих ракообразных также доминируют космополит - *Cyclops abyssorum*, среди ветвистоусых раков - *Daphnia longispina hyalina*, среди коловраток: *Kellicottia longispina*, *Filinia longiseta*, *Conochilus unicornis*, *Synchaeta* sp. (Kozhova et al., 1994, Mitamura et al., 2010). Бентос представлен гидрами, круглыми и малощетинковыми червями, ракушниковыми остракодами, бокоплавами (Kozhova et al., 1994), среди брюхоногих моллюсков - катушками и представителями рода *Choanomphalus*, среди двустворчатых моллюсков - представителями родов *Pisidium*, *Sphaerium*, *Euglesa*, *Henslowiana* (Слугина З.В., 2001). Средняя биомасса зообентоса составляет 5.5 г/м<sup>2</sup> (Kozhova et al., 1994).

Палеолимнологические исследования показывают, что озерная фауна оз. Хубсугул имеет относительно недавнее развитие, около 12000 лет, так как в период оледенения экосистема озера испытала на себе коллапс, его продуктивность была катастрофически снижена, и озеро являлось практически необитаемым. Наряду с изменениями температурного режима, причинами гибели фауны явилось значительное падение в этот период уровня озера (на 170-190 м, согласно различным оценкам) и изменения его гидрохимии (Karabanov et al., 2004). В течение верхнего плейстоцена площадь его водной поверхности была в 3-4 раза меньше сегодняшней, озеро являлось бессточным, и его минерализация была существенно выше сегодняшней (Fedotov et al., 2002). Террасы, относящиеся к середине плейстоцена, расположены приблизительно на 120 м ниже современного уреза воды. В начале голоцена климат стал более теплым и



влажным, уровень озера резко повысился, и оно было повторно заселено космополитическими разновидностями из небольших озер и рек, протекающих в его бассейне.

Для озера характерны рыбы реофильного комплекса (Дашдорж, 1973). Рыбная фауна представлена ленком (*Brachymystax lenok*), сибирским и косоогольским хариусами (*Thymallus arcticus*, *T. arcticus nigrescens*), сибирской плотвой (*Rutilus lacustris*), налимами (*Lota vulgaris*, *Lota lota*), речным окунем (*Perca fluviatilis*), тайменем (*Hucho taimen*), обыкновенным и озерным гольяном (*Phoxinus phoxinus*, *P. percnurus*), сибирским гольцом (*Noemacheilus Barbatulus toni*), сибирской шиповкой (*Cobitis taenia sibirica*), а также завезенным из Байкала в 1956 г. омулем (*Coregonus autumnalis*). (LBRI&ILECF. 1991, Лимнология ..., 1994). Многие рыбы, населяющие озеро, размножаются в реках. Хищных рыб два вида: окунь и налим. Наиболее многочисленны - ленок и косоогольский хариус, которые заселили литораль до глубины 50 м. Косоогольский хариус - эндемичная форма сибирского хариуса, отличающаяся более темной окраской, и внесенная в Красную книгу Монголии. Рыбная продуктивность составляет около 300 тонн. Озерная рыба, в сравнении с рыбой р. Селенги, характеризуется несколько замедленным ростом, более поздним созреванием и пониженной плодовитостью.

Водосбор озера Хубсугул характеризуется богатством орнитофауны, здесь насчитывается около 170 видов птиц, в том числе такие редкие, как лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*), эндемик горных озер Центральной Азии горный гусь (*Anser indicus*), дрофа (*Otis tarda*), горный гриф (*Aegypius monachus*), орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*), скопа (*Pandion haliaetus*). На островах озера известны три колонии серебристых чаек, по оценке 1996 г. их количество превышает 3500 птиц. Также здесь обитает 18 видов куликов, азиатский бекасовидный и большой веретенник (*Limnodromus semipalmatus*, *L. limosa*), вальдшнеп (*Scolopax rusticola*), лесной дупель (*Gallinago megalo*), хрустан (*Eudromias morinellus*), турухтан (*Philomachus pugnax*), горный дупель (*G. solitaria*), азиатский бекас (*G. stenura*), большой улит (*Tringa nebularia*), малый зуек (*Charadrius dubius*), травник (*Tringa totanus*), фифи (*T. glareola*), поручейник (*T. stagnatilis*), черныш (*T. ochropus*), перевозчик (*Actitis hipoleucos*), большой кроншнеп (*Numenius arquata*) и бекас

(*Gallinago gallinago*), чибис (*Vanellus vanellus*). (Скрябин, Тупицын, 1998)

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне. Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Площадь водосбора оз. Хубсугул составляет 4920 км<sup>2</sup> (включая само озеро). Здесь проживает около 7000 человек. Основные населенные пункты - Ханх - в северной части озера, Хатгал - в южной части озера; их развитие в значительной степени определяется пограничным положением и торговлей с Россией. На севере и юге озера имеются нефтяные поля Хатафал и Ханх. Эксплуатируется более 30 месторождений фосфоритов.

Озеро используется как источник воды; коммунальный водозабор составляет 1.43 м<sup>3</sup>/сек. Развита навигация, однако количество судов и моторных лодок очень невелико. В конце 1990-х гг. для туристических целей на Хубсугул были поставлены два катера. В 2000 г. возобновились рейсы судна морского типа "Сухэ-Батор", судно курсирует нерегулярно, по предварительному заказу. Грузооборот составляет 20000-30000 тонн/год. В последние годы на озере активно развивается рекреация. В 2006 г. на Хубсугуле в Ханхе открылась первая монголо-российская туристическая база «Серебряный берег», ориентированная в первую очередь на обслуживание российских туристов.

Несмотря на слабое антропогенное развитие в последние десятилетия в регион возникает ряд экологических проблем. Прежде всего, они связаны с началом эксплуатации месторождений фосфоритов в регионе. Эксплуатация месторождений может нарушить естественную среду оз. Хубсугул, и, в конечном счете, озера Байкал, связанного с ним рекой Эхин-гол. Местные власти предпринимают ряд усилий для решения этой проблемы, но степень индустриального влияния на среду все еще остается недостаточно изученной. Нагрузка на водосбор происходит также и из-за длительного выпаса.

### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

С 1950-х гг. изучением оз. Хубсугул и его бассейна наряду с монгольскими специалистами активно занимались ученые из Советско-

го Союза. В 1959-60 гг. началась совместная работа экспедиции Монгольского и Иркутского государственных университетов. В 1962 г. на озере был открыт гидрометрический пост. Результатом 25-летней деятельности Советско-монгольской комплексной Хубсугульской экспедиции явилось издание Атласа озера. С 1970-х гг. работами по озеру занимались также ученые Советско-Монгольской комплексной биологической экспедиции и Совместной Советско-Монгольской геологической и палеонтологической экспедиции АН СССР. После распада СССР, с начала 1990-х к работам на озере и в пределах его водосбора подключились ученые из Америки и Японии.

В 1992 г. весь водосбор озера был включен в состав Национального Парка Хубсугул (838.1 тыс. га). Территория парка включает оз.о Хубсугул, прилегающие к нему с запада высокогорья и верховья р. Эйхен-Гол. С 1999 по 2001 гг. внутренний департамент США и ИМВЕС работали в сфере модернизации Национального Парка. Был построен туристический центр, производилось обучение штата сотрудников, были проведены работы для повышения доходов от Парка. С 2002 г. Глобальная Служба по Окружающей Среде (GEF) стала основным спонсором программ по долгосрочным научным исследованиям в окрестностях оз. Хубсугул. Финансовая поддержка работ осуществлялась Мировым Банком. С 2007 по 2012 гг. проводится новая программа, направленная на изучение изменений климата в бассейне озера, влияния этих изменений на выпас, особое внимание уделяется проблемам динамики вечной мерзлоты. С Монгольской стороны в программе принимают участие Академия Наук Монголии и Национальный Университет. Научные исследования ведутся также учеными из Японии, России, Норвегии, Германии, Нидерландов, Кореи, Тайваня и США. Работы проходят под патронажем ЮНЕСКО, которая курирует глобальную систему по изучению водных ресурсов Азии.

### ВЕЛИКИЕ АФРИКАНСКИЕ ОЗЕРА

К Великим Африканским озёрам относится несколько крупных озёр, находящихся в Восточно-Африканской зоне разломов и вокруг

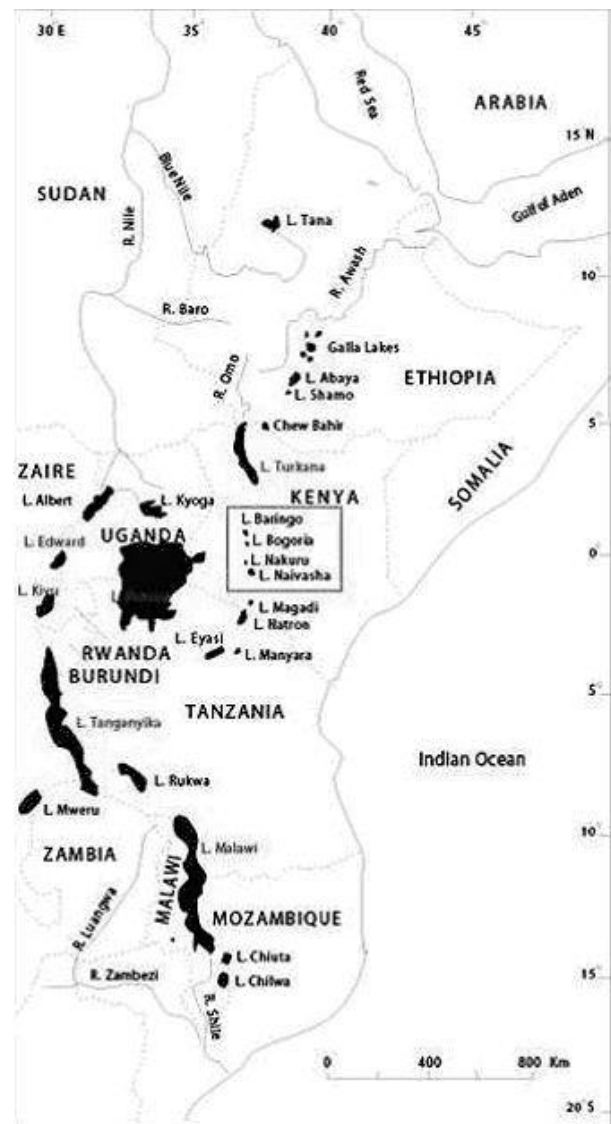


Рис. 1.10. Район Великих Африканских Озер  
Источник: Nyamweru, 1983.

нее (рис. 1.10). Это оз. Виктория, второе по величине зеркала пресноводное озеро в мире оз. Танганьика, второе по глубине и объему, а также озёра: Ньяса (Малави), Альберт, Киву и Эдуард. Некоторые к числу Великих Африканских озёр относят только озёра Виктория, Альберт и Эдуард, поскольку лишь они имеют сток в Белый Нил. Озера Танганьика и Киву имеют сток в систему р. Конго, а Ньяса — в р. Замбези через р. Шире. Основные морфометрические характеристики Великих Африканских озёр приводятся в табл. 1.1

**Таблица 1.1. Морфометрические характеристики Великих Африканских Озер**

НАЗВАНИЕ ОЗЕРА	ПЛОЩАДЬ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА, КМ. КВ.	ПЛОЩАДЬ ВОДОСБОРА, КМ. КВ.	НАИБОЛЬШАЯ ГЛУБИНА, М	СРЕДНЯЯ ГЛУБИНА	ОБЪЕМ, КМ. КУБ.
Виктория	68800	184000	84	40	2760
Танганьика	32600	263000	1470	570	18880
Ньяса (Малави)	29500	100500	706	292	8400
Альберт	5300	18223	58	25	133
Киву	2370	7000	489	240	560
Эдуард	2325	12096	112	17	39.5

### 1.3. ОЗЕРО ВИКТОРИЯ

Озеро Виктория (Виктория Ньянца, Укереве, Налубаале) - наибольшее из Великих Африканских озер, его площадь водной поверхности составляет 68800 км<sup>2</sup>. Это второе по величине пресноводное озеро в мире, уступающее лишь оз. Верхнему (82367 км<sup>2</sup>). Озеро протягивается с севера на юг на 320 км, с запада на восток на 275 км, и имеет трапецевидную форму. Его координаты: 0°30'с.ш.-3°12'ю.ш.; 31°37'-34°53' в.д., урез воды находится на высоте 1134 м над уровнем моря. Максимальная глубина – 84 м, средняя – 40 м, объем заключенной воды 2760 км<sup>3</sup>. Танзания, Уганда и Кения расположены по берегам озера и контролируют 49%, 45%, и 6% его водной поверхности, соответственно (рис. 1.11). Площадь бассейна оз. Виктория сравнительно небольшая, менее чем в 3 раза превышает площадь водной поверхности озера.

Оз. Виктория лежит в обширной депрессии между Восточным и Западным отрогами Большого Рифта, в окружении плоских или слабо-всхолмленных равнин, поверхность которых, полого понижаясь, плавно уходит под воду. Берега преимущественно низкие, часто заболоченные, перед ними простирается широкая полоса мелководья. Высокие обрывистые берега характерны лишь для юго-западного участка побережья, к югу от устья р. Кагеры. На хорошо увлажненных северном и западном берегах распространены папирусные болота, перемежающиеся с тропическими лесами и сельскохозяйственными угодьями. На юге и востоке, где климат более засушлив, преоблада-

ют саванные ландшафты. Наиболее крупные заливы – Кавирондо на северо-востоке, Спик на юго-востоке, Смит-Саунд на юге. На озере более 3000 островов общей площадью более 6000 км<sup>2</sup>, многие из них обитаемы. На севере острова образуют архипелаг Сесе. На юге выделяется большой о-в Укереве (> 1000 км<sup>2</sup>).

Котловина озера имеет тектоническое происхождение. Начало ее формирования относится к середине четвертичного периода. Ранее на месте озера с востока на запад протекали две большие реки, заканчивающиеся, повидимому, в обширном озерном водоеме. Тектонические движения подняли восточный борт рифа, сток в западном направлении был прегражден, и реки повернули вспять. Однако в восточных частях речных долин уклон остался прежним, поэтому поворот стока привел к затоплению средних отрезков долин. Здесь возникли мелководные озера-болота, которые явились зачатками современного озера. После тектонического опускания территории, сопряженного с продолжающимся поднятием восточного борта Западного рифта, заключенные в речных долинах озера вышли из берегов, затопили водоразделы и слились друг с другом в единое озеро – Виктория. Возраст озера оценивается различными авторами в 400000 или в 750000 лет. Первоначально озеро, скорее всего, не имело стока; р. Виктория-Нил, раньше начинавшаяся севернее оз. Виктория, постепенно отодвинула свой исток на юг, перепилив невысокий водораздел, ограничивающий с севера озерную котловину (Дмитриевский, Олейников, 1979).

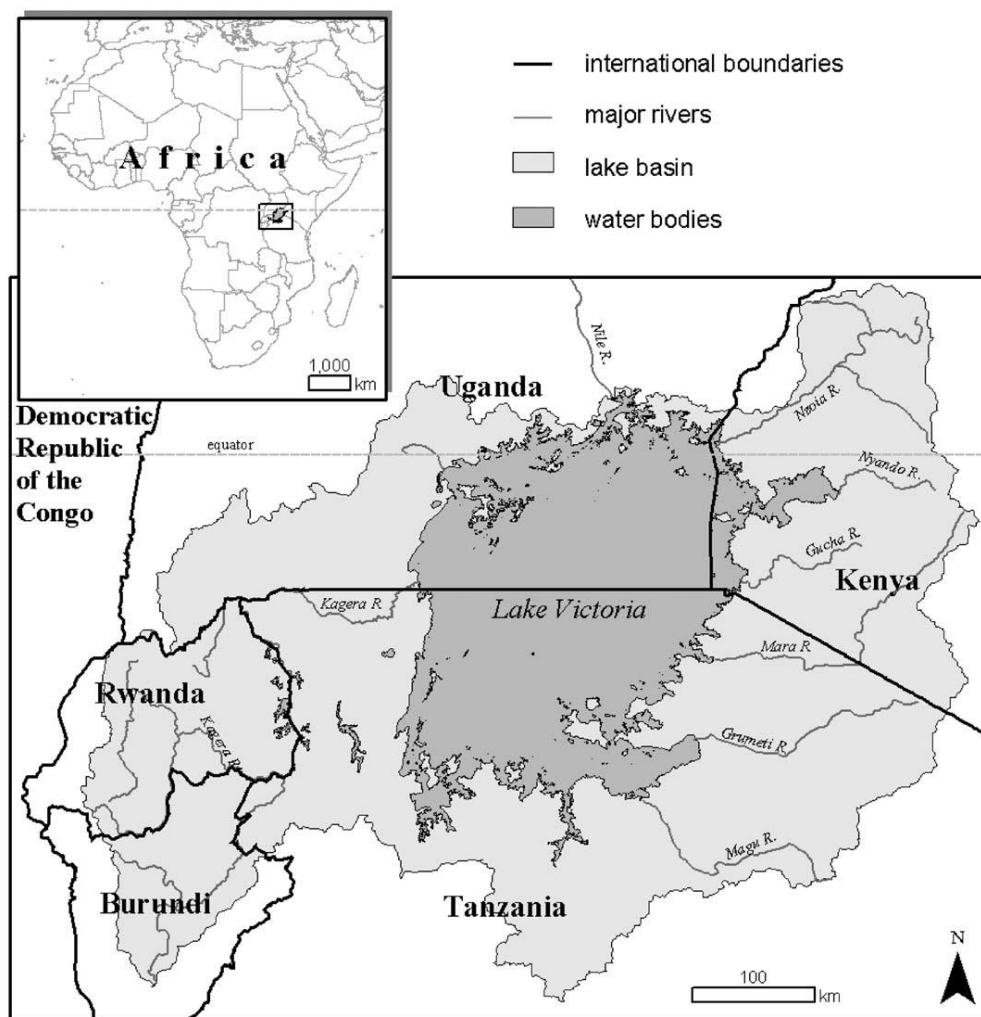


Рис. 1.11. Озеро Виктория. Источник: Albright et. al., 2004

Будучи относительно неглубоким водоемом, оз. Виктория является сильно чувствительным к изменениям климата. Согласно исследованиям шурфов, отобранных на дне озера, за время своего существования оно высыхало три раза. Эти циклические пересыхания, скорее всего, совпадают с прошедшими фазами оледенения. Последний период пересыхания озера происходил от 17300 до 14700 лет назад.

***История заселения и роль озера в жизни окружающих народов***

Изначально берега оз. Виктории населяли народы, родственные бушменам и готтентотам, а с угандийской стороны – пигмеи и койсанские племена. Все они занимались охотой и собирательством. Затем в 1-м тысячелетии до н. э. с Эфиопского нагорья пришли кушитские племена, а к началу н. э. пришли племена банту. Первые письменные сведения об оз. Виктория

относятся к XII в., когда его берегов достигли арабские торговцы. На карте 1169-х гг., известной как Ал Идризи, достаточно точно нанесены очертания озера как источника Нила. Из европейцев первым берегов озера в 1858 г. достиг британский исследователь Джон Хеннинг Спек, который и дал озеру его современное имя, назвав его в честь королевы Виктории.

С 1890 г. начинается колониальный период развития народов, населяющих побережье оз. Виктория, когда Восточная Африка явилась объектом соперничества между европейскими державами, в первую очередь Британии и Германии. С конца XIX в., со времени прихода европейцев, берега озера активно заселялись, а озерные ресурсы активно использовались. Уже в 1897—1901 годах была построена железная дорога и линия связи от озера Виктория до Момбасы. Англичане-поселенцы создавали в

регионе крупные плантационные хозяйства, в том числе для производства экспортных культур — чая, кофе, сизаля, а на территории Уганды внедрялось выращивание хлопчатника. Британцы создавали предприятия по переработке сельхозпродукции, производству потребительских товаров. Благодаря созданию определенной инфраструктуры, население, проживавшее по берегам озера, начало быстро расти. В 60-е годы XX века терпит крах колониальный режим и объявляется независимость для стран Восточной Африки. После объявления независимости страны региона столкнулись с массой трудностей, так что данный период изобилует большим количеством межэтнических конфликтов и военных столкновений. В 1978-79 гг. происходит война между Танзанией и Угандой, в конце 1980-х гг. гражданская война в Уганде, с 1998 по 2002 г. Уганда вовлечена во Вторую конголезскую войну. В начале XXI века политическая обстановка в регионе по-прежнему остается нестабильной. В Уганде лишь к 2008 г. заканчивается 20-летняя Гражданская война, а в Кении в 2007 г. вспыхивает новый межэтнический кризис. Однако в сфере управления водными и рыбными ресурсами оз. Виктория страны региона достигают определенных соглашений уже к середине 90-х годов XX века.

Самое крупное африканское озеро, являющееся источником Белого Нила, оз. Виктория имеет огромное значение в жизни и экономике стран Восточной Африки, прежде всего подходящих к его берегам Танзании, Уганды и Кении.

На сегодняшний день бассейн оз. Виктория является одним из наиболее густо населенных регионов мира. Озеро и питающие его реки снабжают водой около 35 млн. человек, проживающих на его водосборе. Согласно East African Community, озеро обеспечивает коммунальный водозабор 5 млн. человек, городского и сельского населения, проживающего на его берегах. Продажа рыболовной продукции является основным источником валюты для стран Восточной Африки. В рыбной отрасли занято около 3 млн. человек (ЕАС 2006). Благодаря плотинам, построенным на р. Виктория-Нил, население Уганды обеспечивается электроэнергией, выработка которой составила на уровень 2007 г. 380 МВт, в планах правительства на ближайшие годы увеличить

потребление гидроэнергии до 1200 МВт (Government of Uganda, 2007). В будущем Уганда предполагает экспортировать электроэнергию в Танзанию и Руанду (Lubovich, 2009). Хотя на сегодняшний день основным потребителем гидроэнергии является Уганда, значительный гидроэнергетический потенциал существует также у Кении. Согласно расчетам ЕАС, Кения может производить 278 МВт гидроэнергии за счет притоков оз. Виктория - Сонду-Мириу, Каджа, Нзоя и Яла (ЕАС 2006).

Сложно преувеличить экологическую роль водоема. Его воды и окружающие озеро заболоченные земли являются местообитанием множества рыб и птиц, многие из которых на сегодняшний день уже отнесены к редким и исчезающим видам. Благодаря своим огромным размерам озеро определяет погодные условия близлежащих территорий, играя ключевую роль в пространственном перераспределении осадков за счет фрикционных и термических контрастов между поверхностью воды и суши (Mukabana and Pielke 1996), а также является источником значительной влажности и латентного тепла окружающих территорий. Связь между температурами поверхности воды оз. Виктория и окружающим климатом особенно выражена в связи с его значительным высотным положением, которое определяет сильные ветра в регионе (Anyah and Semazzi 2004).

### *Характеристики термического режима*

Оз. Виктория расположено в зоне действия экваториального климата. Среднегодовое параметры климата в его бассейне представлены на рис. 1.12. Большинство авторов относят оз. Виктория к мономиктическому типу. Полное перемешивание всего объема воды происходит один раз в год, частичное – несколько. Прямая температурная стратификация удерживается большую часть года и нарушается зимой. Термоклин обычно находится на глубине 30-40 м. В июне - июле стабильный термоклин ломается под воздействием юго-восточного течения, и в конце июля озеро на некоторое время становится изотермальным. (Talling, 1966). Температура эпилимниона колеблется в пределах 23.8-26°C; температура придонных вод примерно на 1°C ниже, чем поверхностных.

Среднегодовое параметры климата, ст. Kisumu

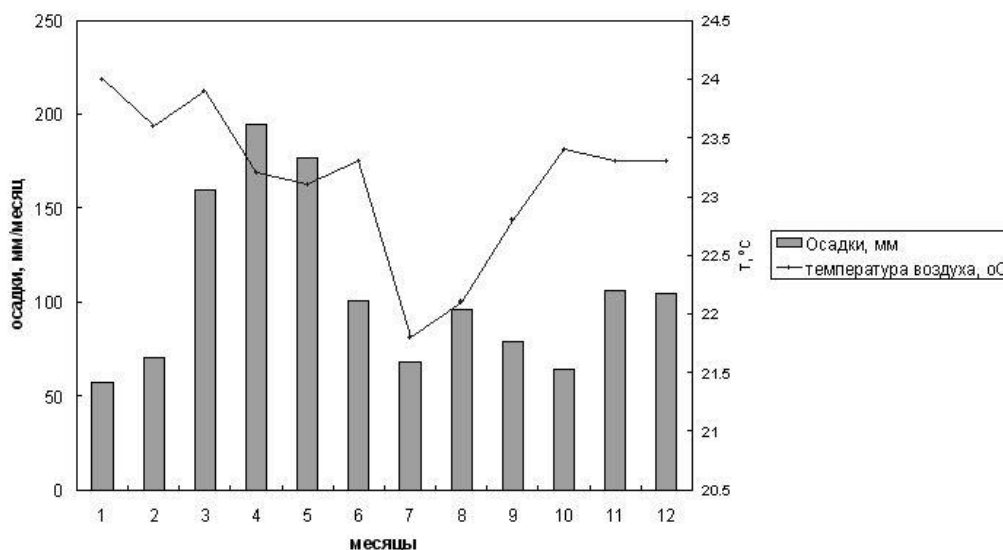


Рис. 1.12. Среднегодовое параметры климата, ст. Kisumu, по данным ILEC.

### Водный баланс. Уровенный режим

Особенностью оз. Виктория является значительное доминирование осадков в приходной части его водного баланса, составляющих в среднем около 86% (Okonga, 2001). За период наблюдений с 1950 по 2000 гг. годовой слой осадков варьировал в промежутке 886-2609 мм. Среди многочисленных рек, впадающих в озеро, крупнейшая – Кагера (самый удаленный от устья исток Нила), а также крупные реки: Исонга (на юге); Мбалагети и Грумети (на юго-востоке), Мара и Гори (на востоке), Нзоя (на северо-востоке), Катонга (на северо-западе). Вытекает из озера река Виктория-Нил. 80% расходной части водного баланса испаряется. За период наблюдений с 1950 по 2000 гг. годовой слой испарения варьировал в промежутке 1108-2045 мм (COWI, 2002).

Река Виктория Нил, покидая оз. Виктория в его Угандийской части, течет на север, в направлении к озеру Альберт из которого уже вытекает Белый Нил. В 1954 г. на р. Виктория-Нил была построена плотина Оуэн Феллс с целью выработки электроэнергии на нужды Уганды и Кении. В 2002 г. в Уганде было завершено строительство второго гидроэнергетического комплекса на р. Нил и построена плотина Киира, расположенная на 1 км ниже по течению плотины Оуэн Феллс (Налубаале).

Согласно структуре водного баланса речной сток вносит лишь небольшую часть водной

поставки и его вариации не значительно влияют на изменение уровня озера, тогда как годовые вариации осадков почти полностью определяют уровенный режим. Особенно большую роль играют затяжные ливневые дожди, выпадающие с марта по май и менее продолжительные дожди, выпадающие с октября по декабрь, так называемый период «коротких дождей» (ЕАС 2006). Согласно Awange et al. 2008 даже непродолжительные засухи в бассейне оз. Виктория могут иметь длительные последствия, которые требуют значительного времени для их преодоления.

Уровень воды оз. Виктория обычно слабо изменяется в течение года (в пределах 0.5-1 м). На рис. 1.13 представлен график исторических наблюдений за уровнем оз. Виктория. Как видно из графика, в начале XX в. уровни были существенно ниже, чем в его второй половине. Изменение уровня произошло после строительства плотины Оуэн Феллс, до этого на озере наблюдались значительные колебания уровня воды в зависимости от водности года, дамба снизила амплитуду этих колебаний. В начале 1960-х гг., вскоре после строительства плотины наблюдалось резкое повышение уровня, повышение совпало также с увеличением осадков в этот период. Высокие уровни воды держались до конца XX в., с начала XXI в. уровень озера начал снижаться, и к 2005 г. его средняя отметка находилась более чем на 1 м ниже средней отметки, наблюдавшейся в

График уровня воды оз. Виктория, 1900-2010 г.

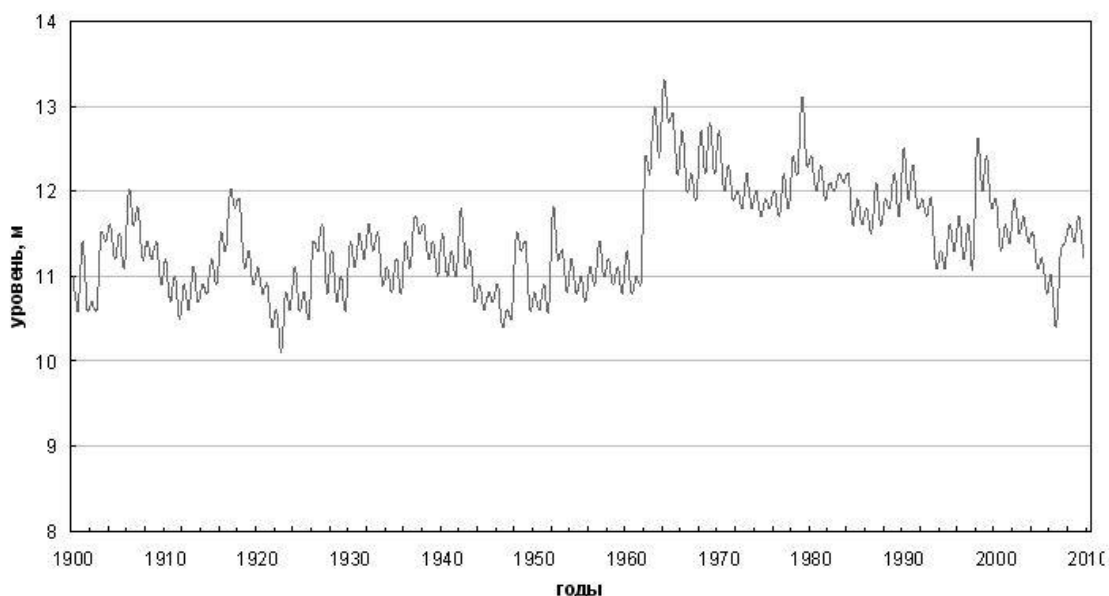


Рис. 1.13. Изменения уровня воды оз. Виктория. По данным USDA, TOPEX/Poseidon, Jason-1, OSTM historical archive.

1980-90-х гг. Уровень, достигнутый к 2006 г., явился наименьшим за последние 80 лет наблюдений.

Существенное падение уровня оз. Виктория, наблюдавшееся в начале XXI в. затронуло экономику ряда стран восточной Африки. Из-за низких уровней на 30% снизилась выработка электроэнергии в Уганде (Lubovich, 2009) - во многих регионах страны ее подача происходила нормировано, по пять часов в день. Выработка электроэнергии была сокращена с 265 МВт в 2003 г. до 185 МВт в 2006 г (Arunio, 2007). Значительные трудности, связанные с ростом цен на энергию, ощущались и в промышленном секторе. В Танзании был вынужден прекратить работу один из трех водозаборов. Коммунальный водозабор был снижен с 42 до 38 тыс м<sup>3</sup>/день (Lubovich, 2009). Кроме того, большие потери понесла сфера водного транспорта. Многие суда вынужденно загружались не в полном объеме. Падение уровня привело к осушению примыкающих к озеру болотистых территорий, поросших папирусом, являющихся буферной зоной, задерживающей значительную часть биогенного притока. Сухой папирус и торф сжигался с целью использования земель под сельскохозяйственные нужды. Громадный урон был нанесен местной фауне, рыбам и птицам,

средой обитания которых были заросли папируса.

В связи с серьезностью возникших проблем был произведен анализ причин, вызвавших столь быстрое и резкое падение уровня. Независимый гидролог Дэниэлле Калл (Kull, 2006), проживающий в Найроби рассчитал, что в связи со строительством нового гидроэнергетического комплекса, включающего плотину Киира, строительство которой завершено в 1999 г. (рис. 1.14), Уганда в начале 2000-х гг.



Рис. 1.14. Дамбы на р. Виктория-Нил. Источник: Lake Victoria... 2007



спустила вдвое больше воды, чем было оговорено в международном соглашении по озеру. Таким образом, по его мнению, она несет первоочередную ответственность за наблюдавшееся падение уровня. Согласно его оценкам в течение 2004-06 гг. две угандийские дамбы (Киира и построенная ранее Налубаале) сбрасывали в среднем около 1250 м<sup>3</sup> воды в секунду, что на 55% больше, чем позволяют наблюдаемые в эти годы водные уровни. Обвинения в сторону Уганды прозвучали и от Генерального секретаря восточно-африканского Сообщества Аманья Мушега. Согласно отчету Power Planning Associates (PPA) дамбы ответственны за 59% произошедших потерь (Lake Victoria... 2007).

Угандийские власти отрицали заключения Д. Калла и настаивали на утверждении, что в падении уровня виновна только наблюдавшаяся в регионе засуха. Постоянный Секретарь Министерства по Окружающей среде Кариса Кабагамбе утверждал, что в 2004-06 гг. произошло снижение осадков в бассейне на 15%, так что именно длительная засуха явилась причиной понижения уровня большинства озер региона. После публикации Калла большинство гидрологов (Kiwango and Wolanski, 2007, Awange et al., 2008 и др.) также пришли к выводу, что снижение уровня озера в большей степени произошло из-за чрезмерных водовыпусков. Kiwango и Wolanski, 2007 утверждают, что уровень озера в начале XXI в. сохранился бы около средних значений, если бы водовыпуски после строительства плотин происходили согласно принятой кривой. С их точки зрения проблема возникла из-за сложности управления двумя дамбами одновременно. Претензии ряда гидрологов были высказаны в связи с нежеланием Уганды предоставлять материалы по водовыпускам. Согласно недавнему докладу Miller N.L., 2009 дамбы являлись повинной в снижении уровня оз. Виктория 2004-2006 г. на 55%, тогда как засуха - на 45%. На 19 внеочередной встрече ЕАС (19th Extraordinary Meeting of the EAC Council of Ministers ) было принято решение установить «независимый и прозрачный механизм» контроля за уровнями воды представителями всех трех прибрежных стран (ЕАС, 2008).

К счастью, в конце 2006 г. в регионе выпали значительные осадки, и уровень воды вновь начал расти.

Согласно Miller N.L., 2009 глобальные изменения климата могут значительно сказаться на уровненом режиме оз. Виктория, приводя к увеличению испарения, количества засух и паводков. По прогнозам экваториальные ледники, включая г. Килиманджаро, могут полностью растаять к 2020 г., что приведет к снижению притока. Однако, как уже было отмечено выше, основную составляющую приходной части водного баланса озера играют осадки. Температура поверхности моря увеличивается на глобальном уровне, в том числе в Индийском океане, что изменит количество выпадающих осадков в регионе оз. Виктория. В ответ на нагрев тропосферы циркуляция индийского муссона может ослабнуть, изменив направления потоков влаги над Восточной Африкой. Anyah and Semazzi 2004 отмечают, что температуры воздуха в Угандийской части бассейна с 1960-х до 1990-х гг. увеличились на 0.5°C, что достаточно много для региона с небольшими амплитудами внутригодовых температур. ЕАС, 2006 оценивает увеличение температуры в бассейне озера между 1950 и 2000 г. в 1°C. Согласно исследованиям Anyah and Semazzi 2004 более высокие температуры над озером хорошо коррелируют с увеличением количества выпадающих осадков, а модельные расчеты показывают, что при повышении температуры на 1.5°C может происходить удвоение выпадающих осадков. При этом с ростом температуры значительно увеличится испарение, играющее основную роль в расходной части водного баланса. Поскольку озеро в очень большой степени определяет климат окружающего региона, любые, даже небольшие, изменения температуры и осадков могут повлечь за собой непредсказуемые последствия в масштабах бассейна.

### ***Основные характеристики качества вод***

Вода оз. Виктория отличается повышенной жесткостью, легкой щелочностью, рН колеблется в пределах 7.2-8.6. Электропроводность составляет 95-120 мкS/см, содержание основных ионов в мг/л: Na<sup>+</sup> - 9; K<sup>+</sup> - 4.1; Ca<sup>2+</sup> - 3.9; Mg<sup>2+</sup> - 2.7; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - 54.9; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 2.5; Cl<sup>-</sup> - 3 мг/л., прозрачность 0.5-2 м (Visser, Villeneuve, 1975, Bugenyi, Lutalo-Bosa, 1990, Mavuti, Litterick, 1991, ILEC).

### ***Основные биологические особенности***

Среди высшей водной растительности оз. Виктория доминируют воздушно-водные



макрофиты: рогоз (*Typha* spp.), тростник (*Phragmites* spp.), папирус (*Cyperus papyrus*), рдест (*Potamogeton* sp.); плавающие: воссия (*Vossia* sp.); погруженные: роголистник (*Ceratophyllum demersum*), гидрилла (*Hydrilla verticillata*), горец (*Polygonum* spp.). Фитопланктон представлен сине-зелеными: *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbia limetica*, *Anabaena circinalis*, *Spirulina* spp., *Merismopedia* sp., зелеными: *Scenedesmus* spp., *Staurastrum* sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Coelastrum* sp., *Pediastrum* sp., диатомовыми: *Nitzschia* sp., *Navicula* sp., *Synedra* sp., *Melosira nyassensis*, динофлагеллятами: *Ceratium* sp. (Nzombo, 2005) Первичная продуктивность согласно данным Gikumu-Njuru, 2006 на начало XXI в. составляет 217-646 мг O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> час. Зоопланктон состоит из 3 основных групп: веслоногие ракообразные - *Thermocyclops emini*, *T. oblongatus*, *Mesocyclops equatorialis*, ветвистоусые рачки - *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma excisum*, *Moina macrouris*, коловратки - *Brachionus caudatus*, *B. calyciflorus* (ILEC, 1984). Среди других планктонных организмов встречаются ресничные черви, водяные клещи, ракушниковые, остракоды, и личинки толстохоботных комаров (Mavuti, Litterick, 1991). Среди бентоса доминирующими видами являются брюхоногие моллюски (*Melania tuberculata*, *Bellamyia* sp.), двукрылые (*Chaoborus* sp.), комары-звонцы, двустворчатые моллюски (*Corbiculina* sp., *Caelatura* sp.), малощетинковые черви (Mothersill, Freitag, Barnes, 1980).

Большинство видов рыб оз. Виктория появилось от двух миллионов до десяти тысяч лет назад из западных рек, которые позже затопили образовавшуюся депрессию, сформировав озеро. Для ихтиофауны характерна высокая степень эндемизма: хромисовые эндемичны на 90%, остальные виды на 58%. Кроме того, рыбное население проявляет определенное родство и с ихтиофауной Нильского бассейна. Высокая степень эндемизма связана, по всей видимости, с длительным периодом изоляции - озеро имеет сток по р. Виктория-Нил сравнительно недавно. Возможные в прошлом периоды обмеления озера привели к господству здесь двоякодышащих и илолюбивых рыб. В оз. Виктория до сих пор живёт рыба ланг, появившаяся в регионе 300 миллионов лет назад. Она может вдыхать и задерживать воздух в жабрах, как в лёгких. Это редчайшая

рыба, являющаяся связующим звеном между обычными рыбами и наземными животными.

Среди рыбного населения оз. Виктория в настоящее время доминируют: нильский окунь (*Lates niloticus*), тилапия (*Oreochromis leuociticus*, *O. niloticus*), представители семейства карповых (*Rastrineobola argentea*, *Labeo shilbe*), также многочисленны представители семейства цихлид (*Haplochromis* spp.), алестид (*Alestes baremose*), клариевых (*Clarias* spp.), африканских двулегочниковых (*Protopterus aethiopicus*), косатковых сомов (*Bagrus docmac*), анабасовых (*Clarias* sp.). Семейство хромисовых представлено 64 видами, осталось 14 видов барбусов. Такие виды как *Protopterus*, *Clarias*, *Stenopoma* неплохо приспосабливаются к состоянию недостатка кислорода, тогда как *Barbus*, *Labeo*, *Clarias*, мигрируют в период наводнения из озера в реки, где и размножаются (Balirwa, Bugenyi, 1989). В водах оз. Виктория водится огромное количество крокодилов.

Оз. Виктория является одним из самых рыбопроизводительных пресноводных водоемов мира. Местными наиболее ценными видами рыб являются здесь тилапия *Oreochromis esculentus*, омена или дагаа *Rastrineobola argentea*, багрус *Bagrus dormac*, мозамбикский клариас *Clarias mossambicus*, протоптерус *Protopterus aethiopicus*, шильб полосатый *Schilbe mystus* и синодонтис *Synodontis* sp.. Кроме того, в 1950-1960 гг. в озеро были подселены также нильский окунь и тилапия. Если еще в 1960-70-е гг. около 80% биомассы в озере составляли местные виды цихлид, то с конца 1970-х гг. ведущее положение занимают вселенцы, и, прежде всего, нильский окунь, достигший к 1980-х гг. 60% от общего вылова. За свое вкусное мясо он имеет прибыльный рынок за границей, особенно в Европе, Азии и на Ближнем Востоке. Высокое коммерческое использование имеет также нильская тилапия, используемая как продовольствие на местном рынке. Среди местных видов наибольшее коммерческое использование после произошедшего в озере катастрофического изменения структуры рыбного населения имеет дагаа.

Ежегодные уловы на оз. Виктория с конца 1980-х гг. находятся в пределах 500 000 – 750 000 тонн, а в 2006 г. по данным Lake Victoria Fisheries Organization (LVFO) уловы были подняты до 1 060 000 тонн. LVFO –

Рыболовная Организация Озера Виктория, сформированная после подписания в 1994 г. трехстороннего Соглашения между Кенией, Танзанией и Угандой с целью скоординированного и рационального управления его рыбными ресурсами и рыбной ловлей. Рыбная ловля оз. Виктория, разделенная между Кенией, Танзанией и Угандой, обеспечивает для этих стран огромный источник дохода, занятости, продовольствия и валютного обмена. Доходы от рыбной ловли составляют от 300 до 400 миллионов долларов США, из которых 250 млн. приходится на экспорт нильского окуня (Uganda Coalition for Sustainable Development 2007; EAC 2006). В рыболовных коллективах занято около 200 тыс. человек.

### **Виды-вселенцы и крупнейшая потеря биологического разнообразия**

В связи с подселением чужеродных видов оз. Виктория перенесло самую высокую, зарегистрированную для озерных экосистем, утрату видового разнообразия. Существовавшая в естественных условиях рыбная фауна озера отличалась высокой степенью вариативности. В озере обитало около 500 видов рыб, в том числе очень многообразно было семейство цихлид, представленное приблизительно 400 видами. Подселение чужеродных видов с целью увеличения уловов было начато в 1950-х гг., когда в озеро были добавлены несколько видов тилапии *Oreochromis niloticus*, *O. leucostictus*, *Tilapia zillii*, *T. rendalli*. Однако наиболее трагичным оказалось предпринятое в начале 1960-х гг. вселение нильского окуня *Lates niloticus*. Его взрослая особь может достигать 195 см в длину и 200 кг веса. Половозрелого состояния окунь достигает на 3 год жизни, тогда как ее общая продолжительность составляет 16 лет. Окунь отличается высокой продукционной способностью, самки выметывают до 16 млн. яиц одновременно и способны к икрометанию, когда их рост достигает 50-80 см. Рацион взрослой рыбы составляют более мелкие виды рыбы, насекомые и крупные ракообразные, молодые особи питаются планктоном.

До начала 1980-х гг. нильский окунь присутствовал в озере в сравнительно небольших количествах, после чего началось его массовое расселение, приведшее к абсолютному доминированию. Быстрое распространение нильского окуня происходило в силу его активного хищничества, кроме того, оно совпало с чрез-

мерным отловом в 1970-е гг. местных хищников - цихлид рода хаплохромисов, так что окунь перестал испытывать какую-либо конкуренцию в борьбе за пищу. В результате, за 30 лет доля цихлид сократилась с 80% в 1960-е гг. до 1% к концу 1980-х. Около 200 видов местных цихлид теперь являются почти полностью утраченными в естественной среде и встречаются, преимущественно, в зоопарках и аква-риумах. Некоторые виды цихлид выжили в близко расположенных, так называемых спутниковых озерах, как Кьога, Эдуард и Альберт. К сожалению, в силу высоких доходов, приносимых от продажи нильского окуня экономике стран, расположенных по берегам оз. Виктория, необходимых мер по ограничению численности этого вида не предпринималось. Более того, в конце 1970-х-начале 1980-х гг. изменения в озерной фауне не воспринимались как катастрофичные, понимание трагедии пришло лишь к 1990-м гг. К концу 1980-х гг. практически исчезла и одна из двух местных разновидностей тилапии – нгге (*Oreochromis esculentus*), уступившая место вселенцу – нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*). Тилапия нгге, отличавшаяся более высокими вкусовыми качествами, проиграла в конкурентной борьбе из-за своих менее высоких скоростей размножения. Кроме того, нильская тилапия негативно сказалась на местных популяциях благодаря активному скрещиванию с ними. К счастью, тилапия нгге смогла выжить в близко расположенных к оз. Виктория небольших озерах и прудах. В 1988 г. Всемирный Союз по охране редких и исчезающих видов (World Conservation Union Red Book of Endangered Species) занес в Красную Книгу несколько сотен видов рыб, обитавших в озере Виктория, под грифом «исчезающие».

К началу 2000-х гг. благодаря высоким нормам вылова, а также из-за активного распространения водного гиацинта, создающего для окуня неблагоприятную среду, популяция Нильского окуня стала истощаться. В 1999-2001 гг. рыбные запасы нильского окуня оценивались в 1.29 млн. тонн, тогда как в 2005-06 г. – в 0.82 млн. тонн (Lubovich, 2009). В результате сокращения нильского окуня увеличилась численность некоторых местных видов цихлид, в особенности разновидностей, питающиеся зоопланктоном, таких как *Rastrineobola argentea*. В уловах доля нильского окуня снизилась с 60% на уровень 1980-х до 25-30% на уровень второй

половины 2000-х гг., в то же время существенно поднялась доля дагаа - с 25 до 50-55%, соответственно.

### ***Антропогенная активность в бассейне***

Регион Великих Африканских озер – один из наиболее населенных регионов мира. Площадь водосбора оз. Виктория составляет 184000 км<sup>2</sup>, здесь проживает около 35 млн. человек (Onganga, Righa 2009), из которых около 85% приходится на Танзанию, Уганду и Кению и еще около 15% на Руанду и Бурунди, также частично входящих в бассейн оз. Виктория. Норма прироста численности населения составляет 3-4% в год. По побережью размещается ряд крупных городов, таких как Кисуму, Кампала, Энтеббе, Джинджа, Букоба, Мванза и Мусома, с населением от 0.2 до 2 млн. человек, связанных между собой морскими дорогами. В последние десятилетия урбанизация имеет очень высокие темпы, в бассейне уже насчитывается 87 больших городов (из них 51 в Кении, 30 в Танзании и 6 в Уганде). Большинство жителей живет намного ниже черты бедности и без постоянного доступа к электричеству. Внутренний Валовой Продукт на человека составлял в 2009 г. в Танзании 1400 долларов США, в Уганде - 400 и в Кении – 1200, однако большинство жителей имели доход от 90 до 270 долларов США в год. Лишь около 17% местного жилья охвачено системами канализации, даже в городах к коллекторной сети подключено менее 30% резидентов. 80% жителей одного из наиболее крупных в бассейне кенийских городов - Кисуму (700 тыс. человек) используют выгребные туалеты (Onganga, Righa 2009). Городские системы очистки стоков крайне неэффективны и порой не работают по несколько месяцев. В результате значительная часть необработанных нечистот во время ливней смывается в реки и затем в озеро. Из-за быстрого роста городов, существующие системы канализации не справляются с постоянно растущим объемом стоков, часто происходит их прорыв и перелив сточных вод. Кроме того, во время ливней часть нечистот попадает в грунтовые воды и в плохо защищенные колодцы, используемые для питьевого водоснабжения. При этом грунтовые воды являются единственным источником водоснабжения для 75% жителей Кисуму. А необработанные воды – 70% населения региона (Machiwa 2002). В результате периодически возникают вспышки тифа, лихорадки, холеры, дизентерии и малярии (Lubovich, 2009).

Согласно историческим свидетельствам вокруг озера с давних времен развивалось сельское хозяйство. Из-за быстрого прироста населения, нуждающегося в продуктах питания, развитие сельского хозяйства с целью увеличения урожайности в последние десятилетия идет по пути использования пестицидов и удобрений. Эти агрохимикаты очень богаты биогенными веществами, поступающими затем со стоком в озеро. Экономическое развитие в бассейне включает также рыбную ловлю, лесоводство, туризм, гидроэнергетику и транспорт. Оз. Виктория по его единственному выходу на севере, р. Виктория-Нил, является водным путем к Судану и Египту.

### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

Интенсивный рост численности населения, сопровождающийся активным хозяйственным развитием в бассейне, привел к серьезным экологическим проблемам на озере Виктория. Среди мероприятий, приведших к наибольшим экологическим последствиям:

- бурный рост городов, сопровождающийся увеличением плохо очищенных и, в ряде случаев, неочищенных промышленных и коммунальных стоков;
- расширение сельскохозяйственных площадей, сопровождающееся ростом сельскохозяйственных стоков;
- сплошная вырубка лесов по всему побережью, приводящая к увеличению почвенной эрозии. В 2000 гг. сведения лесов в Кении происходило со скоростью 0.5-0.9% в год, в Уганде – более 1%, и в Танзании – 0.1-0.4% (Olago, 2009);
- деградация примыкающих к озеру болотистых земель. На сегодняшний день по оценкам Kayombo, Jorgensen, 2005 около 75% этих земель испытывают на себе антропогенное давление и 13% полностью деградировали.

Кроме того, как уже было описано выше, огромное давление на озеро оказало развитие рыбной ловли и рыбной промышленности. Рыбная промышленность производит огромное количество отходов. На сегодняшний день из-за низкого качества или отсутствия систем очистки стоков на большинстве рыбоперерабатывающих предприятий значительная их часть поступает обратно в озеро, привнося туда

огромное количество биогенных веществ. Согласно Gumisiriza et al., 2009 на озере существует 31 предприятие рыбной промышленности, которые ежегодно суммарно производят 36 000 тонн твердых отходов и 1 838 000 тонн жидких. С целью заинтересовать производителя не выкидывать, а использовать рыбные отходы, была предложена дальнейшая система их переработки для производства комбикормов, органических удобрений, биохимических изделий, а также биоэнергии (Gumisiriza et al., 2009). До конца 2000-х гг. самостоятельные попытки утилизации отходов чаще всего оказывались нерентабельными.

**Эвтрофикация** В связи с высокой плотностью населения и быстрым развитием экономики в регионе, в течение последних десятилетий происходит неуклонный рост поступления в озеро с водосбора биогенных веществ, приводящее к проявлению его антропогенной эвтрофикации. Важнейшими источниками поступления биогенных веществ являются коммунальное и сельское хозяйство. С начала XX столетия до 1980 гг. их поступление возросло почти в 3 раза (TED Case Studies: Lake Victoria). Рост, главным образом, происходил с середины XX века. Согласно оценкам LVEMP с городскими стоками ближайших к озеру поселений в него за год поступает 3028 тонн общего азота и 2686 тонн общего фосфора. Согласно оценкам COWI, 2002, - 3505 и 1624 тонн, соответственно, еще 49509 тонн общего азота поступает с водосбора и 102151 – из атмосферы, фосфора – 5693 и 24398 тонн, соответственно. Промышленные стоки добавляют 414 тонн азота и 342 тонн фосфора. По мнению Kiwango and Wolanski, 2007 80% фосфора, привносимого в озеро с водосбора, имеют муниципальное и промышленное происхождение, а 75% азота приносится с сельскохозяйственными стоками.

Содержание биогенного вещества в воде озера Виктория особенно велико в мелководных заливах, вблизи крупных городов и в устьях рек. Измерения, произведенные для Танзанийской части водоема показывают максимальный приток азота в зал. Мванза, побережье которого наиболее густо населено (Pascal et al., 2007). Внутригодовое распределение концентрации азота свидетельствует о его повышении во влажный сезон. Максимальные значения азота наблюдались в период менее продолжительных зимних дождей, а также продолжительных весенних, концентрации в сухой

сезон были в 3-7 раз ниже (Pascal et al., 2007). Концентрация фосфатов в озере составляет на начало XXI в. 20-56 мкг/л (Gikumu-Njuru, 2006). При этом согласно оценкам Vincent et al., 2007, производившим оценку биогенного притока с Кенийской части водосбора, концентрация фосфатов в сточных водах находится в пределах 1.59-33.03 мг/л, а в речных (Awachi Seme, Nyando, Sondu Miriu, Awachi and Yala) – 0.45-6.51 мг/л. Наиболее высокие концентрации были обнаружены в сточных водах, разгружаемых в зал. Хома (Homa Bay). Во влажный сезон концентрации были выше. За последние десятилетия концентрация фосфатов значительно повысилась в глубинных слоях. Накопление фосфора в донных осадках за прошлое столетие удвоилось. Согласно Vincent et al., 2007 содержание фосфатов в донных осадках наиболее загрязненных заливов Кенийской части водосбора составляет до 56.6 мг/кг. Соотношение TN:TP для оз. Виктория оценивается в 40-50, в прибрежных участках оно выше.

В 1960 гг. концентрация хлорофилла-а в пелагиальных водах согласно данным Talling, 1965, 1966 составляла 1.2-5.5 мкг/л, а у берегов – до 20 мкг/л. В самых загрязненных участках она не превышала 70 мкг/л. К концу XX века средние по озеру концентрации хлорофилла возросли до 10-20 мкг/л, а у побережья – до 20-80 мкг/л. В 1997 г они составили в воде зал. Мванза - до 170 мкг/л, а зал. Марчисон. – до 300 мкг/л (COWI, 2002). В открытой части водоема наибольшие значения хлорофилла-а обычно наблюдались в короткий период стратификации, с августа по сентябрь. Прозрачность в среднем по озеру снизилась с 5 м в начале 1930-х до 1 м в 1990-х гг (TED Case Studies: Lake Victoria). В заливах она теперь не превышает 0.5 м. Продуктивность фитопланктона выросла к концу столетия по сравнению с 1960-ми гг. в 5 раз (GIWA 2006), а его видовой состав резко изменился. Диатомовые, доминировавшие в 1960-е гг., уступили место сине-зеленым (*Microcystis*, *Anabaena*). Доля сине-зеленых возросла до 45-65%, а диатомовых сократилась до 20-40% (Gikumu-Njuru, 2006). Согласно мнению Mugidde, 2001, лимитирующая роль в развитии водорослей переходит от питательных веществ к поступлению света.

Процесс эвтрофирования особенно четко проявлялся с 1980-х гг. На протяжении нескольких десятилетий наблюдался чрезмерный рост таких водорослей, как *Microcystis aeru-*

*ginosa*, *Anabaena circinalis*, *A. sporoides*, а также, в наиболее загрязненных заливах (зал. Ньянца), такого чрезвычайно опасного вида как *Cylindrospermopsis africana*. (Gikumu-Njuru, 2006). Фикотоксины, выделяемые некоторыми сине-зелеными водорослями, опасны для рыбы, поскольку разрушительно действуют на ее печень. С середины 1980-ых гг. сине-зеленые формировали обширные плотные ковры на поверхности озера. Их бурное развитие приводило к кислородному дефициту. В ряде районов содержание кислорода на глубине 25 м упало до 3 мг/л (Onganga, Righa 2009). Около половины водоема испытывали кислородное голодание на глубине превышающей 30 м, длящееся в течение нескольких месяцев (Njiru et al., 2001), тогда как в 1960-е гг. оно имело очень ограниченное распространение, лишь в придонных слоях (GIWA 2006). В период кислородного голодания значительная часть озера становится теперь непригодной для проживания рыб. В мелководном зал. Ньянца (средняя глубина 7 м), соединенном с озером относительно узким каналом Русинга, в связи с поднятием во время штормов к поверхности глубоких аноксичных вод в конце XX столетия происходило несколько крупномасштабных заморов рыбы. В 1984 г. в результате замора погибло около 2400 тонн рыбы (Ochumba, P.V.O., 1990).

Эвтрофирование водоема создает массу проблем и для водопользователей. Токсины, выпускаемые сине-зелеными крайне вредны для млекопитающих, а также для человека. Качество воды катастрофически снизилось, по мере дальнейшего эвтрофирования водоема требуется все более дорогостоящая очистка воды, используемой на коммунальные нужды. Вместе с тем, происходит постоянное засорение водозаборных фильтров. Наиболее эвтрофированными областями озера Виктория являются заливы Винам, Мерчисон, Наполеон и Мванза. Самый высокий уровень эвтрофированности наблюдается в прибрежной зоне.

*Заиление* С целью расширения сельскохозяйственных площадей на водосборе оз. Виктория были сведены значительные площади лесов. На сегодняшний день около 1/3 площади бассейна занимают сельскохозяйственные земли. В результате сведения лесов и слабой сельскохозяйственной практики резко увеличилась эрозия почв. К значительным негативным последствиям привело сведение деревьев в непосредственной близости к озеру. По

различным оценкам в водоем поступает от 690 млн. до 19 800 млн. тонн наносов за год (Lubovich, 2009). Даже наименьшее из приводимых значений свидетельствует о серьезности проблемы заиления. Согласно Majaliwa et al. (2001) наибольшая эрозия почв происходит при выращивании зерновых, тогда как культивация кофе и бананов почти не задевает почвенный слой. Вместе с почвенным покровом из-за эрозии в водоемы поступает огромное количество биогенного вещества. По расчетам, приводимым COWI 2002 нормы осадконакопления составляют 0.1 мм/год. К сожалению, из-за сохраняющейся тенденции расширения сельскохозяйственных площадей, ситуация в ближайшее время не улучшится. Скорость расширения составляет 2.2% (Kayombo, Jorgensen, 2005). Кения, Танзания и Уганда стремятся увеличить производство ряда культур, прежде всего кофе и чая, приносящих валютные прибыли. Кроме всего, активно развивается животноводство.

*Рост токсического загрязнения* Из-за низкого качества обработки промышленных стоков озеро испытывает на себе токсическое загрязнение. Масштабы этого загрязнения плохо изучены, однако есть надежда, что пока оно еще не велико. Очистительные системы, используемые в бассейне, включают: фильтрацию и окислительные пруды при обработке муниципальных стоков; анаэробные и аэробные окислительные пруды при обработке промышленных стоков. Однако большинство стоков остаются неочищенными.

Из-за наличия на водосборе месторождений золота в воду озера поступают соединения ртути, используемой при его добыче. Месторождения золота активно разрабатываются в Танзании, в 2005 г. экспорт минерального сырья, прежде всего золота, принес стране 642 млн. долларов (Yager 2007), это около 42% от общей валютной прибыли. В воде и донных отложениях зал. Мванза обнаружены следы таких тяжелых металлов как хром, свинец, кадмий, медь и цинк (Kishe and Machiwa, 2001). Пока что они находятся в неопасных количествах. По данным Tole and Shitsama, 2001, средняя концентрация тяжелых металлов в водах зал. Минам составила 0.12-0.45 мг/л Pb, 0.01 мг/л Cd, 0.16-1.82 мг/л Cr, в донных осадках – 21.2-76.2 мг/л Pb, 0.4-2.8 мг/л Cd, 37.6-394 мг/л Cr (Kayombo S., Jorgensen S.E., 2005). Концентрация металлов увеличивается вблизи городов, что свидетельствует о их индустриальном

происхождении. Одним из загрязнителей в последние десятилетия становятся нефтепродукты, попадающие в воду из трюмов крупных судов и с переливных станций.

Агрохимикаты также были обнаружены в озере, пока в небольших количествах. В законодательстве прибрежных стран прописано ограничение их использования в сельском хозяйстве, так что Танзания, Уганда и Кения стараются придерживаться установленных норм. Согласно данным Henry & Kishimba 2002 концентрация в нильском окуне эндосуфана, В-эндосуфана и эндосульфана составили 0.01-0.03 мг/л. Кроме того, с водами р. Нзоя обнаружено поступление в озеро пестицидов: ДДТ - 0.3 мг/л, ДДЕ - 0.3 мг/л, Токсафен - 0.2 мг/л. На обнаружение в воде остатков пестицидов, сельскохозяйственного происхождения, указывают также Getenga et al., 2004; Henry and Kishimba, 2002. Большая часть токсичных загрязнителей попадает в литоральную зону.

*Водный гиацинт* С 90-х годов XX века на оз. Виктория борются с агрессивными поселениями водного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) – плавающего макрофита с чрезвычайно высокой скоростью роста, способного удваиваться в размере каждые 6-18 дней (NASA, 2007). Растение может вырастать до 80 см над поверхностью воды. Его листья достигают 10-20 см в диаметре, прямостоячие толстые стебли имеют длину до полуметра. Связываясь воедино растения формируют плотные ковры. Семена гиацинта отличаются высокой жизнестойкостью, они могут сохраняться в иле или на дне озера до 30 лет, быстро прорастая при благоприятных условиях. Уроженец Америки водный гиацинт, был случайно вселен в озеро еще в начале XX века. В отсутствие естественных врагов он хорошо прижился. Однако экологическую проблему водный гиацинт стал представлять лишь к концу XX века. Наблюдавшееся с середины XX в. быстрое эвтрофирование водоема создало благоприятную среду для огромных скоростей расселения этого сорняка. С конца 1980-х годов скопления водного гиацинта блокируют передвижение водного транспорта, затрудняют лов рыбы, создают проблемы для гидроэнергетики и коммунального водозабора. Особенно страдают рыбаки. Владельцы небольших лодок практически не могут протиснуться по озеру. Задержки коммерческого транспорта приводят к

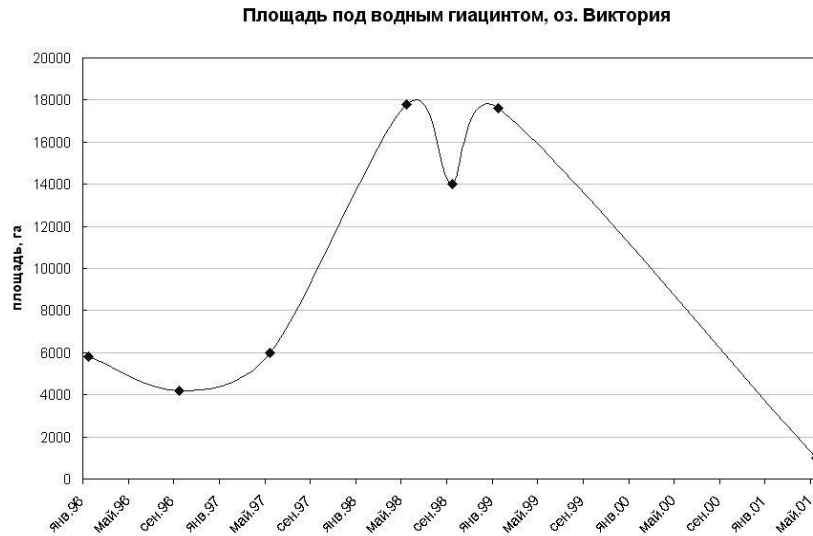
гниению улова и потерям заработка. Возникающий из-за массового распространения сорняка кислородный дефицит вызывает рыбные заморы. Заросли водного гиацинта, являясь благоприятной средой для размножения паразитических проститов рода *Plasmodium*, вызывающих малярию, провоцируют эпидемии этого заболевания.

Применение водного гиацинта крайне ограничено. Для того, чтобы его можно было использовать в качестве животных кормов, он имеет слишком высокое содержание кремния, оксалата кальция, калия и невысокие содержание протеина. В качестве удобрений водный гиацинт не может использоваться из-за слишком высокого соотношения углерод/азот, что требует добавления дополнительных азотистых удобрений (Makhanu 1997).

Большие скопления водного гиацинта впервые были отмечены в оз. Виктория в 1988 г., предположительно, он появился в озере из р. Кагера, устье которой расположено в Угандийской части водоема. Сорняк покрывал сплошным покровом прибрежные мелководные зоны вдоль Угандийского берега с глубинами до 6 м. Постепенно инвазия стала распространяться по всему озеру к берегам Кении. К 1995 г. под водным гиацинтом находилось около 90% береговой линии Уганды. Наиболее крупная вспышка наблюдалась в 1997 г. Согласно оценкам Мирового Банка эта вспышка нанесла прибрежным государствам урон от 6 до 10 млн. долларов. Активность в Кенийском порту Кисуму была снижена на 70% (Mailu 2001).

Борьба с водным гиацинтом велась с начала 1990-х годов, преимущественно ручным способом. В середине 1990-х вопросами удаления сорняка занялись участники LVEMP-I (Lake Victoria Environmental Management Program) и Американское Агентство Международного Развития (U.S. Agency for International Development funding for coordination efforts by Clean Lakes). В результате совместных усилий правительства трех прибрежных стран предложили для борьбы с сорняком следующие методы:

1. Механические усилия по сбору гиацинта. Для этого в Кенийском Индустриальном Научно-исследовательском Институте (Kenya Industrial Research and Development Institute KIRDI) был разработан специальный комбайн. Механический метод является весьма эффективным,



**Рис. 1.15.** Динамика площадей, занятых водным гиацинтом, на озере Виктория, 1996-2001 гг., по данным Albright et al., 2004.

но дорогостоящим, обработка 1 гектара обходится около 3000 американских долларов (World Bank 2000). В качестве чрезвычайной меры механический метод стал активно использоваться в Кенийской части бассейна с июня 2000 г.

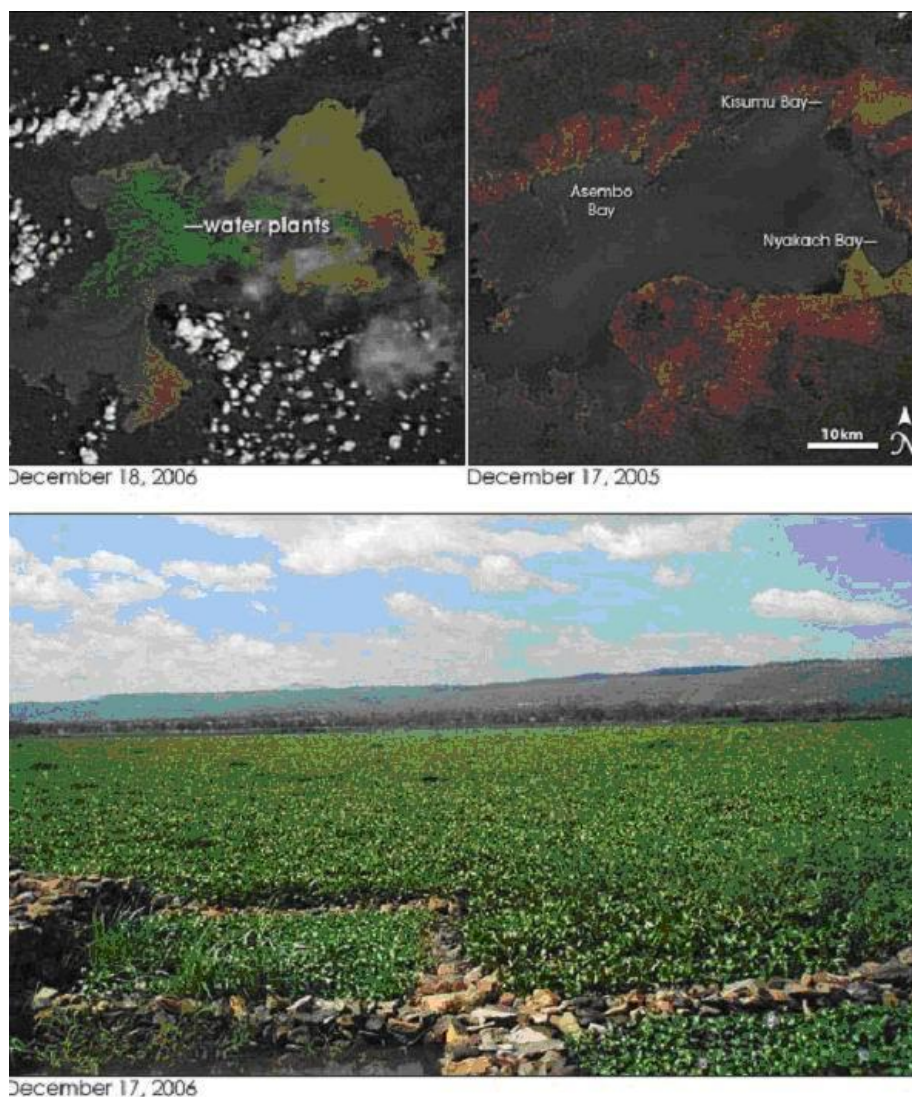
2. Программы химического контроля, предполагающие использование гербицидов в открытой части водоема для минимизации их вредного влияния на жителей. Цена этого метода оценивалась в 100-300 долларов на гектар. Данный метод не имел поддержки из-за возможности накопления гербицидов в тканях рыб, являющихся основным продуктом экспорта.

3. Биологический контроль, который включал программы по вселению долгоносика *Neochetina eichhorniae* и *Neochetina bruchi*. Его взрослые особи питаются листьями растения, а личинки – побегами. Урон, наносимый долгоносиками, делает растение неспособным к цветению и размножению. Стоимость данного метода составляла 30-50 долларов США. Биологический контроль был признан самым успешным. Сокращение поселений гиацинта при его использовании составляло от 30 до 50%. Долгоносика начали вселять в озеро с 1995 г. Сложностью использования биологического метода явилась необходимость четкой координации между правительствами. К 2000 г. программы биологического контроля, механические усилия по сбору гиацинта, естественные изменения уровня воды и волновая

деятельность на некоторое время значительно снизили распространение сорняка, ограничив его наиболее мелководными участками. Площади, занимаемые сорняком, удалось уменьшить на 90%. В 1998 г. сорняком была покрыта площадь в 172 км<sup>2</sup> (Albright et al., 2004), к 2000 г. удалось сократить ее до 5 км<sup>2</sup> (рис. 1.15), на декабрьских снимках 2005 г. заливы кажутся почти чистыми (Peterson G., 2007) (рис. 1.16). Ряд авторов среди факторов, сказавшихся на распространении водного гиацинта, указывает эль-ниньо, проявившийся в регионе в конце 1997 - начале 1998 гг. (Albright et al., 2004, Williams et al., 2005, Wilson et al., 2006). Сильные ветры, вызванные эль-ниньо, способствовали развитию волновой деятельности, в результате растения, поврежденные долгоносиком, подвергались еще более мощному воздействию волн (Wilson et al., 2006). Ветровой деятельностью можно объяснить и наблюдавшееся перемещение гиацинта от танзанийского побережья к кенийскому (залив Винам) в 1998 г. (Albright et al., 2004). По мнению Albright et al., 2004, и Williams et al., 2005, при иных погодных условиях успешность биологического контроля могла бы быть значительно ниже.

Таким образом, к началу 2000-х годов сложилось представление о том, что борьба прошла достаточно успешно. Однако благоприятный период длился недолго и совпал с низкими уровнями воды, после повышения уровня, наблюдающегося в конце 2006 г., гиацинт





**Рис. 1.16.** Инвазия водного гиацинта на оз. Виктория, снимки NASA 2005 и 2006 г. г. Источник Peterson G., 2007

вновь бурно распространяется по озеру. Обильные дожди, выпавшие в бассейне в ноябре-декабре и приведшие к повышению уровня, привнесли в озеро с речным стоком большое количество биогенных веществ. В результате была отмечена новая вспышка развития водного гиацинта, покрывшего в 2007 г. большую площадь заливов Кисуму и Ньякаш (Kisumu Bay, Nyakach Bay). Проблема водного гиацинта остается одной из наиболее важных и обсуждаемых для прибрежных стран оз. Виктория.

**Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

В 1994 г. с целью скоординированного и рационального управления рыбными ресурсами и

рыбной ловлей на оз. Виктория было подписано трехстороннее Соглашение между Кенией, Танзанией и Угандой и создана Рыболовная Организация Озера Виктория Lake Victoria Fisheries Organization (LVFO). В 1996 г. Мировой Банк финансировал проект по восстановлению экологии оз. Виктория и поддержанию его рыбного хозяйства, названный Lake Victoria Environmental Management Project (LVEMP). Большая роль в продвижении этого проекта принадлежала Восточно-Африканскому Сообществу, East African Community (EAC). Одновременно Европейский Союз инвестировал дополнительную сумму в программу по мониторингу рыбной ловли. Одним из направлений этой финансовой помощи явилось обучение нового поколения восточноафриканских водных эко-



логов и специалистов, занимающихся рыбным хозяйством. Кроме того, было увеличено количество научных специалистов, работающих в институтах озерного рыбного хозяйства. 31 декабря 2005 г. проект LVEMP-I был завершен, но уже с 2003 г. начал разрабатываться проект LVEMP-II. Новая стадия началась 31 марта 2009 г. и оценивается в 135 миллионов долларов США. LVEMP-II нацелен на развитие региональной структуры управления пограничными водными ресурсами и рыбной ловлей и разработку механизмов решения спорных вопросов. Особое значение уделено вопросам юридической поддержки рыбной ловли и экологического законодательства. Большое значение уделяется исследованиям в области контроля за загрязнением. Финансирование направлено на создание новых очистных систем, в регионах, где на сегодняшний день они отсутствуют. Разработаны механизмы сохранения почв в девяти приоритетных регионах. (Lubovich, 2009). Несмотря на достижения проекта LVEMP-I и масштабность проекта LVEMP-II вопрос об эффективности предпринимаемых инициатив все еще остается открытым. Главным залогом успеха решения проблем оз. Виктория будет являться согласованность действий трех стран, выходящих к его берегам. Как показал опыт последних десятилетия совместные действия Кении, Танзании и Уганды приводят к положительным результатам, когда сферы их интересов пересекаются, как в случае борьбы с водным гиацинтом. Но при разнице интересов, как в случае с падением уровня воды, пока находить согласованные решения странам очень трудно.

Среди организаций, занимающихся вопросами экологии оз. Виктория необходимо назвать OSIENALA (некоммерческая организация Osier nam Lolwe friends of the lake - Общество друзей озера Виктория) и ECOVIC (East African Communities' Organization for the Management of Lake Victoria Resources Организация восточно-африканских общин по управлению ресурсами оз. Виктория). В обязанности OSIENALA входит следить за распространением водных лилий на оз. Виктория и предпринимать неотложные меры при увеличении их численности. Кроме того, OSIENALA занимается борьбой с бедностью четырехмиллионного аборигенного населения Кении, укрепляя потенциал соседских и родовых общин и организуя их деятельность, направленную на

самоконтроль и самозащиту окружающей среды в регионе.

На территории оз. Виктория находятся знаменитые заповедники и Национальные парки, в том числе Национальный парк острова Рубондо (Rubondo Island) площадью 450 кв. км. Животный и растительный мир Рубондо чрезвычайно богат и многообразен, при этом на острове нет млекопитающих хищников, здесь обитают слоны, носороги, жирафы, саблерогие антилопы, бегемоты, крокодилы, толстотелы, шимпанзе, зеленые мартышки, дикобразы, мангусты, питоны, мамбы, кобры, гадюки. Кроме того, на острове проживает около 400 видов птиц, включая орлов, цапель, аистов, ибисов, зимородков, бакланов. С целью поддержания сред обитания в конце 1990-х гг. было предложено придать охранный статус Рамсарских угодий папирусным болотам в районе Набугабо (Nabugabo wetlands) (Ogutu-Ohvaio, 2001). Роль этого участка сводится, прежде всего, к сохранению родных для озера видов рыб, типа *O. esculentus.*, так как вселенец - нильский окунь не любит болотистые территории, где ему не хватает кислорода.

#### 1.4. ОЗЕРО ТАНГАНЬИКА

Озеро Танганьика - второе по величине из озер Африканского Рифта. Его координаты: 3°22'-8°49'ю.ш.; 29°12'-31°12'в.д., урез воды находится на высоте 773 м над уровнем моря. Страны: Демократическая Респ. Конго, Танзания, Бурунди и Замбия расположены по берегам озера и контролируют 45 %, 41 %, 8% и 6 % его водной поверхности, соответственно. Оз. Танганьика - самое длинное в мире озеро, протянувшееся с севера на юг на 670 км (Jorgensen et al., 2005); его ширина составляет 40-80 км (рис. 1.17). Площадь водного зеркала 32600 км<sup>2</sup>, объем заключенной воды - 18800 км<sup>3</sup> (Jorgensen et al., 2005).

Впадина Танганьики – наиболее глубоко погруженный участок Западного рифта и всей рифтовой системы в пределах собственно Восточной Африки. Борта грабена Танганьики достигают высоты 2200-2400 м над уровнем моря на западе и 1200-1300 м на востоке. Озерная котловина состоит из 2 главных глубоководных бассейнов - северного и южного - внутри которых находится еще несколько котловин второго порядка. Максимальная глубина южного бассейна составляет 1470 м,

северного - 1310 м, средняя глубина озера – 570 м. По глубине оз. Танганьика уступает лишь озеру Байкал. Северный и Южный бассейны являются двумя самостоятельными грабенами, разделенными поперечным горстовым поднятием. Поднятие, будучи затопленным водами озера, имеет вид подводного порога, пересекающего озеро от его западного до восточного берега вблизи 6 градуса южной широты. Глубины на пороге составляют 250-500 (700) м.

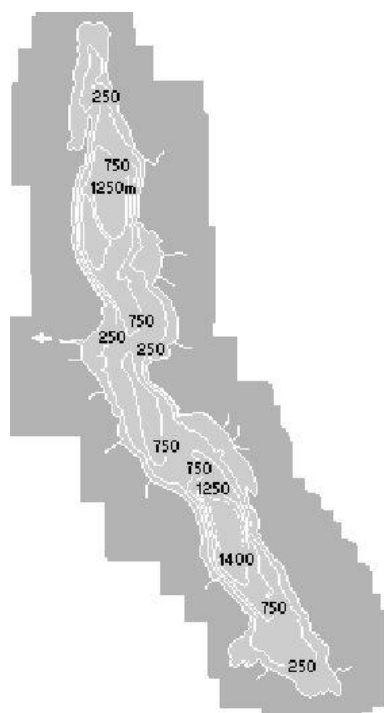


Рис. 1.17. Озеро Танганьика. Источник ILES, 1984.

Берега Танганьики имеют относительно простые массивные очертания, типичные для озер сбросового происхождения. Чаще всего берега приглубые или вдоль них проходит лишь узкая прибрежная отмель, заканчивающаяся крутым подводным откосом, спускающимся к зоне больших глубин. Только перед устьями наиболее крупных рек полоса мелководья расширяется. Длина береговой линии составляет около 1900 км из которых 43% приходится на каменистые берега, 21% - смешанные каменисто-песчаные, 31% - песчаные и 10% - заболоченные (Jorgensen et al., 2005). Песчаные, перемежающиеся с каменистыми участками, широко распространены в северной и южной частях озера. Западное побережье формируют крутые горные массивы Восточно-Африканской зоны разломов,

вплотную подступающие к воде. По центральной части восточного побережья протягивается горная гряда Махали. Береговая линия испещрена бухтами и заливами, самый большой – зал. Бертона.

Оз. Танганьика образовалось в середине неогена, и является старейшим из озер Восточно-Африканского Рифта (Swarzenski, 1999). Его возраст оценивается разными авторами от 7 до 20 млн. лет. Котловина озера имеет тектоническое происхождение. На протяжении всего своего существования, в отличие от других африканских озер, оз. Танганьика ни разу не пересыхало. Несколько раз его уровень становился на 550-600 м и даже на 850 м (Livingstone, 1965) ниже современного. Об этом свидетельствует присутствие на дне подводных долин, являющихся продолжением современных наземных долин питающих озеро рек. В периоды засух озеро делилось на два: северное и южное, соединенные между собой лишь узкой протокой. Тот факт, что даже в самые засушливые эпохи озеро не пересыхало, способствовал развитию в нем богатой фауны - его древняя фауна не исчезала, а смогла дожить до наших дней, обогатившись новыми видами.

На протяжении большей части своей истории оз. Танганьика было бессточным. Около 10 тыс. лет назад в него прорвались воды оз. Киву, что способствовало повышению его уровня (Дмитриевский, Олейников, 1979). Подъем вод происходил до тех пор, пока озерные воды не нашли себе выхода в самой низкой точке горного обрамления, которой оказалась долина р. Лугуки. В конце XIX в. отмечалось временное закупоривание оттока по р. Лукуга. Несмотря на то, что регулярных измерений уровня тогда не проводилось, из письменных источников известно, что уровень озера в это время поднялся приблизительно на 10 м выше сегодняшнего (Shick, Flaccus, Bergonzini, 1998). После прорыва дамбы уровень быстро упал до средних значений, наблюдавшихся в XIX в.

#### ***История заселения и роль озера в жизни окружающих народов***

Исконно большая часть областей вокруг оз. Танганьика являлась местом проживания народов, родственных бушменам и готтентотам, занимавшиеся охотой и собирательством. В начале н. э. на территории современных Конго, затем Танзании, а позже Замбии, появились племена банту, занимав-

шиеся земледелием, скотоводством и кузнечным ремеслом (БСЭ). Банту принесли в регион зачатки цивилизации, металлургию и создали первые протогосударственные объединения. В это же время из Западной Африки на озеро пришло и расселилось по его берегам племя На. На северо-восточном побережье озера проживали пигмеи Тва, которых, приблизительно в 1000 году н. э., вытеснили земледельцы хуту. В XV-XVI веках на север озера пришли кочевники-скотоводы тутси, и в XVII веке здесь возникло независимое феодальное королевство Бурунди, просуществовавшее до прихода в регион европейцев.

Первыми из европейцев берегов оз. Танганьика достигли в 1858 г. английские путешественники Ричард Бертон и Джон Спек. Они обогнули северную оконечность озера в поисках истока Нила. Затем, в 1871 г. район оз. Танганьика изучали знаменитые исследователи Дэвид Ливингстон и Генри М. Стэнли. С конца XIX в., после открытия озера европейцами, начинается колониальный период развития стран, расположенных по его берегам. В данном регионе столкнулись интересы как минимум трех европейских государств – Англии, Германии и Бельгии. Юго-западная часть побережья оз. Танганьика стала британской колонией и сначала получила название Северо-Восточной Родезии, а затем, после объединения с Северо-Западной Родезией – Северной Родезии. Северная Родезия успешно развивалась благодаря добыче полезных ископаемых и иммиграции белых поселенцев, основывавших сельскохозяйственные фермы. Восточное побережье оз. Танганьика попало под власть Германии. В 1891 году было объявлено о создании имперской колонии Германская Восточная Африка, охватывающей территории современных Танзании и Бурунди. Немцы хотели превратить Германскую Восточную Африку в свою поселенческую колонию, они создавали здесь плантации и возделывали каучуконосы, кофе, хлопок, сизаль. В 1902 г. началось строительство железной дороги, соединившей прибрежные порты с глубинными районами. Огромная территория бассейна Конго на запад от оз. Танганьика попала под опеку бельгийцев. В 1908 Конго из личного владения бельгийского короля она превратилась в стандартную колонию под названием Бельгийское Конго. В результате I-ой Мировой Войны восточная часть немецких колоний, расположенных по берегам оз. Танганьика,

отошли под британскую опеку (современная Танзания), а северо-восточная - под бельгийскую (Бурунди) (Martin et al., 1995). Колониальный период продолжался до начала 1960-х гг. Летом 1960 г. Бельгия предоставила независимость Республике Конго, а в декабре 1961 г. Британия - Танганьике (материковой части нынешней Танзании). Летом 1962 г. была провозглашена независимость Королевства Бурунди. В 1963 году получила конституцию и самоуправление Северная Родезия, а осенью 1964 г. была провозглашена Республика Замбия (БСЭ).

Период после распада колониального режима является достаточно сложным и изобилует государственными переворотами, гражданскими войнами, межэтническими конфликтами и военными столкновениями. До начала XXI в. обстановка в большинстве стран оставалась напряженной. Так, до последнего времени, Конго и Бурунди были охвачены межэтнической враждой, приведшей к многочисленным жертвам в этих странах. Значительная роль в установлении относительного спокойствия в регионе принадлежит международным организациям, закрепившим здесь свое присутствие. В большей мере благодаря международным организациям и в сфере управления водными и рыбными ресурсами оз. Танганьика страны региона к концу XX века достигают определенных соглашений.

На сегодняшний день оз. Танганьика играет важнейшую роль в жизни людей, обитающих на его берегах. Оно обеспечивает питьевой, промышленный и сельскохозяйственный водозабор. По озеру проходят важнейшие транспортные маршруты между странами Восточной Африки. Судходные линии соединяют Кигоме (Танзания), Калемие (ДР Конго) и другие прибрежные города. Крупнейшими коммерческими портами являются Бужумбура, Кигома и Мпулунгу. Рыбные ресурсы являются основным источником протеина для местных жителей. Рыбная ловля и отрасли, обеспечивающие переработку рыбы, обеспечивают занятость около 100 000 местных жителей. Доход, приносимый рыболовством, составляет десятки миллионов долларов США.

#### ***Характеристики термического режима и температурная стратификация***

Бассейн оз. Танганьика расположен в регионе с тропическим климатом. Сезонные вариации

Среднеголетние параметры температуры воздуха и осадков, ст. Вужумбуга

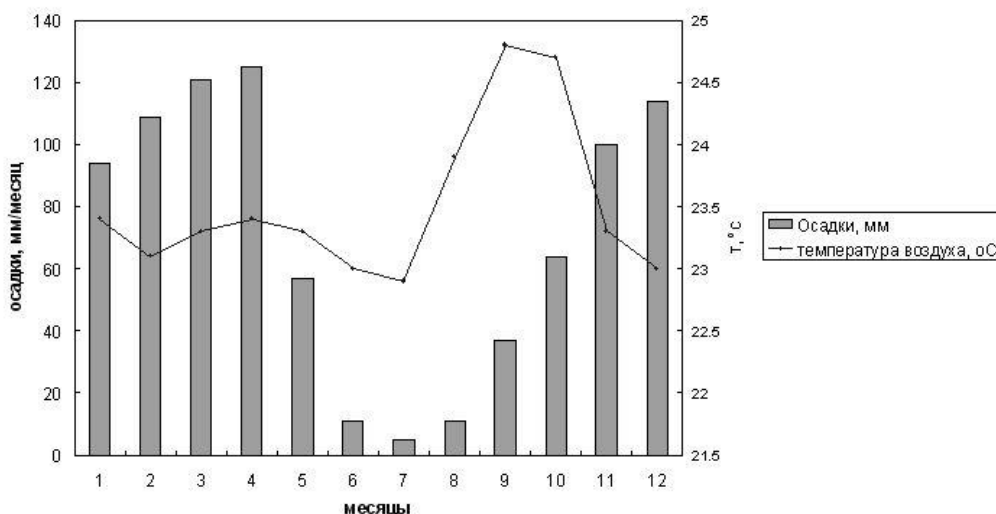


Рис. 1.18. Среднеголетние параметры температуры воздуха и осадков, ст. Вужумбуга, по данным ILEC

погоды определяются положением внутритропической зоны конвергенции. Для бассейна характерно наличие сухого сезона, продолжающегося с мая по август (рис. 1.18) и отличающегося более прохладной погодой и довольно постоянными юго-восточными ветрами и влажного сезона, продолжающегося с сентября по ноябрь и характеризующегося более теплой погодой и слабыми северо-восточными ветрами (Coulter и Spigel, 1991). Скорости ветра в течение сухого сезона достигают 7-9 м/с, порывами до 10-12 м/с.

Для оз. Танганьика характерна устойчивая термическая стратификация озерных вод (Coulter et al., 1991) и наличие застойного “мертвого слоя”. Термоклин на севере располагается на глубине 25-90 м, на юге – 40-120 м (Bont, A.F. 1972). Согласно Branchu, Bergonzini, 2004, по термогалинной стратификации в озере выделяются три слоя: эпилимнион (0-100 м), металимнион (100-250 м) и гиполимнион (более 250 м). Температура поверхностных вод колеблется в пределах 23-29°C, на глубине более 200 м она достаточно стабильна в течение всего года - 23.3-23.5°C (ILEC, 1988). Из-за разной плотности воды и отсутствия придонного течения нижние слои воды не перемешиваются и являются аноксичными. Во время сухого сезона из-за ветровой деятельности более теплые поверхностные воды с южного конца озера перемещаются к северному, а на их место

поднимаются прохладные глубинные воды. Однако даже в этот период циркуляционные процессы захватывают лишь верхние 200-300 м. С поднятием глубинных вод происходит поступление к поверхности дополнительного биогенного вещества.

### Водный баланс

Оз. Танганьика питается от нескольких крупных притоков, основными из которых являются р. Рузизи, берущая начало в оз. Киву и впадающая в озеро с севера, а также р. Малагараси, впадающая с востока. Достаточно крупными притоками являются также реки Ифуме, Лукуга, Лунангва и Луфубу. Отток происходит через р. Лукуга - приток р. Луалабы (верхнее течение р. Конго). По данным Branchu, Bergonzini, 2004, речной приток составляет 29.5 км<sup>3</sup>/год или 45% приходной части водного баланса; с осадками в озеро поступает 35.5 км<sup>3</sup>/год воды или 55% приходной части водного баланса. На испарение тратится 55.3 км<sup>3</sup>/год (85% расходной части водного баланса), отток составляет 9.7 км<sup>3</sup>/год (15%). Осредненный внутригодовой ход составляющих водного баланса по данным Branchu, Bergonzini, 2004 представлен на рис. 1.19.

Уровень воды оз. Танганьика не зарегулирован. Основные осадки в регионе выпадают в сезон дождей: на севере с октября по декабрь и с февраля по апрель, а на юге с ноября по март. В

Осредненное внутригодовое распределение составляющих водного баланса

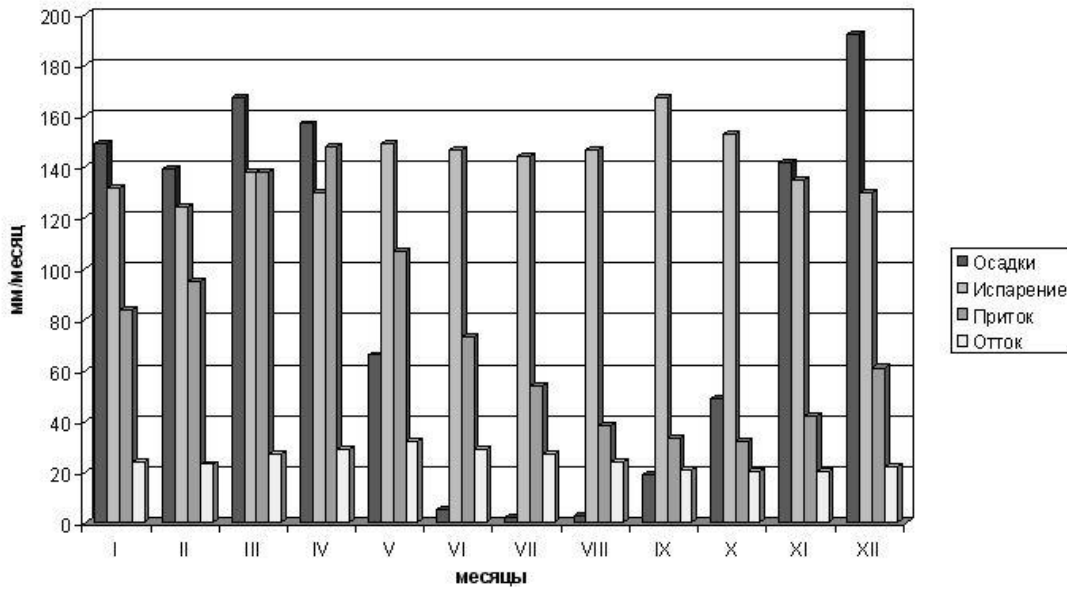


Рис. 1.19. Осредненный внутригодовой ход составляющих водного баланса по данным Branchu, Bergonzini, 2004

График уровня воды оз. Танганьика, 1860-2010 гг.

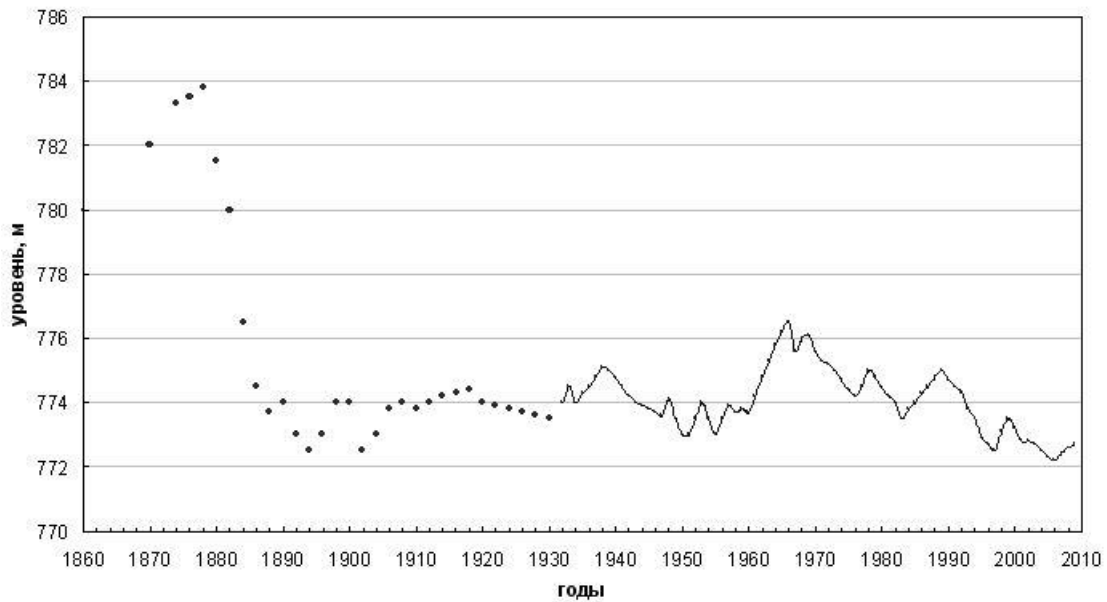


Рис. 1.20. Колебания уровня оз. Танганьика с 1860 г по 2010 гг. Данные за 1860-1830 гг. и данные измерений 1832-1992 гг. приводятся по Bergonzini L., 1998. Данные за 1992-2006 гг. приводятся по данным спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1

это время наблюдается существенное повышение уровня воды, составляющее в среднем около 1 м, максимально наблюдавшееся значение – 2 м, в летние месяцы уровень постепенно падает. За весь период наблюдений амплитуда колебаний уровня воды составила около 4 м.

Наблюдения последних десятилетий (рис. 1.20) выявляют тренд к небольшому снижению уровня озера.

**Основные характеристики качества вод**

Вода оз. Танганьика отличается высокой прозрачностью, изменяющейся по площади озера от

5 до 23 (30) м. Электропроводность варьирует в пределах 520-728  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . В среднем по озеру для эпи- и металимнионных вод она составляет около 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , для гиполимнионных - 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Coenen, 1994). Среди катионов доминирует натрий, характерно повышенное содержание солей магния, связанного с вулканической активностью в регионе. Концентрация ионов кальция и калия достаточно низкая, однако наблюдается увеличение доли калия с ростом минерализации. Среди анионов преобладают би-карбонаты, определяющие высокие значения pH, 8.6-9.2 (Coenen, 1994, Jorgensen et al., 2005). Для поверхностных вод характерна незначительная доля сульфатов, тогда как с глубиной их концентрация резко возрастает. Растворенным кислородом обогащены только верхние слои озера, около 200 м (Coulter et al., 1991), около 90 % водной массы Танганьики полностью лишены кислорода.

Благодаря прозрачности воды, небольшому количеству водорослей и постоянно бескислородному гиполимниону, где аккумулируется почти все биогенное вещество, оз. Танганьика было отнесено к олиготрофному типу (Hesky and Fee 1981). Однако позднее отмечалось, что уровень первичной продуктивности здесь достаточно высокий (Burgis, M.J. 1984). Оценки продуктивности оз. Танганьика производились редко и существенно различаются между собой. Согласно оценкам ILEC (1984) норма первичной продуктивности озера изменяется от 600  $\text{mgC}/\text{m}^2$  день в апреле-мае до 1400  $\text{mgC}/\text{m}^2$  день в октябре-декабре; средняя годовая норма составляет 365  $\text{gr C}/\text{m}^2$  год. В сухой сезон, характеризующийся более сильными ветрами и подъемом к поверхности богатых биогенными веществами глубинных вод, происходит рост первичной продуктивности. Согласно оценкам Jorgensen et al., 2005, дневная продуктивность в весенний сезон составляет 800-860, а в осенний - до 2800  $\text{mgC}/\text{m}^2$  день, а средняя годовая продуктивность - 662  $\text{gr C}/\text{m}^2$  год. По оценкам Naithani J. et al., 2006, 2007 первичная нетто-продуктивность за период 1970-2004 гг. варьировала в пределах 317-432  $\text{gr C}/\text{m}^2$  год. Согласно измерениям Sarvala et al. (1999) первичная продуктивность за период лето 1993 - лето 1996 года изменялась в пределах 426-662  $\text{gr C}/\text{m}^2$  год.

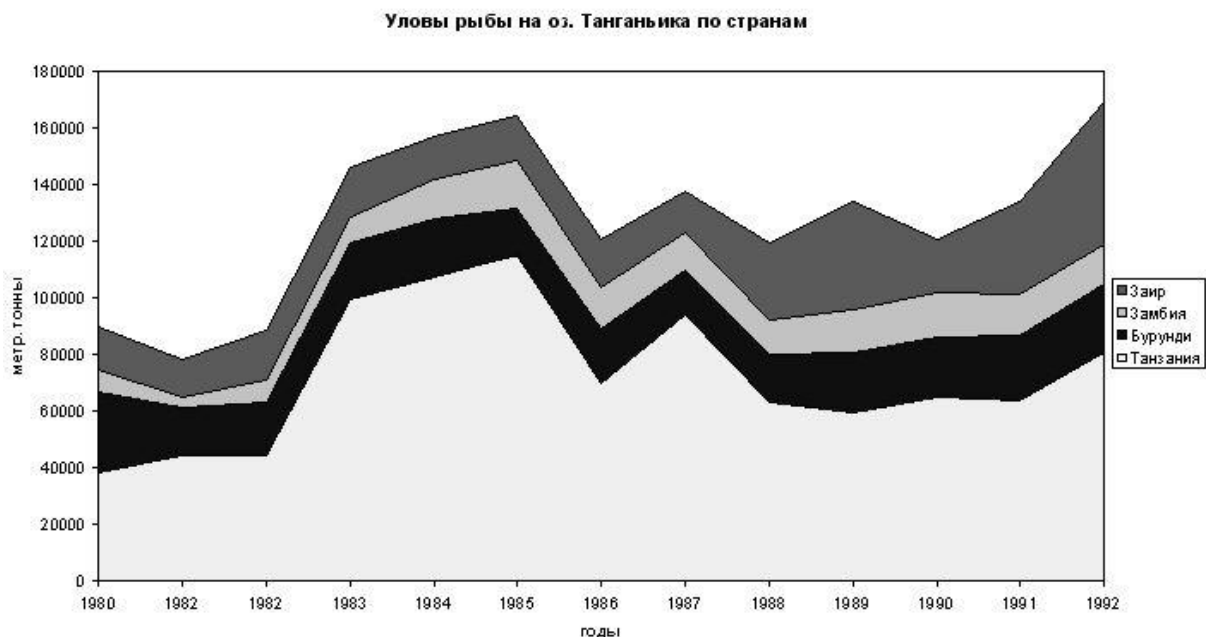
Минимальная биомасса фитопланктона на оз. Танганьика, согласно Hesky and Kling (1981), составляет 60  $\text{mg}/\text{m}^3$  и отмечается в период устойчивой стратификации, тогда как макси-

мальная - 930  $\text{mg}/\text{m}^3$  - наблюдается в конце периода перемешивания водной массы. Вторичная продуктивность питающихся фитопланктоном копепод оценивается Sarvala et al., 1999 в 23  $\text{gr C}/\text{m}^2$  год. Концентрация хлорофилла-а в эфотическом слое по оценкам Hesky and Kling (1981) составляет 0.1-4.5  $\text{мкг}/\text{л}$ , при среднегодовом значении - 1.2  $\text{мкг}/\text{л}$ . По более поздним расчетам, выполненным Naithani et al. (2006), к началу XXI в. среднегодовая концентрация хлорофилла-а оценивалась в 0.82  $\text{мкг}/\text{л}$ . Расхождения с предыдущими цифрами авторы объясняют тем, что расчет производился ими не для всего эфотического слоя, а лишь для его поверхностной части. По оценкам Jorgensen et al. (2005), концентрация хлорофилла-а в южной части озера составляет около 1  $\text{мкг}/\text{л}$ , в северной части около 2, и в средней, наименее глубокой части, до 5  $\text{мкг}/\text{л}$ . Salonen et al. (1999) и Plisnier et Descy (2005) свидетельствуют, что глубинный профиль концентрации хлорофилла-а характеризуется его более высокими значениями на глубине 20-30 м.

#### **Основные биологические особенности.**

По разнообразию биоты оз. Танганьика является одним из наиболее богатых водоемов мира. По данным Coulter et al. (1991) в нем обитает 2156 представителей флоры и фауны, среди которых 325 видов рыб, 759 водорослей, 81 вид макрофитов, 219 ракообразных, 171 вид водоплавающих птиц. Примерно 600 видов являются эндемиками (Swarzenski, 1999). Высокий эндемизм водоема обусловлен его древностью и длительным периодом изоляции. Среди рыбного населения Танганьики особо знамениты цихлиды, отличающиеся небольшими размерами (от 5 до 35 см) и необычайной красочностью. Среди других эндемичных видов - тринадцать из двадцати пяти разновидностей крабов, принадлежащих семействам *Potamonautes*, *Platythelphusa* и *Deckenia*, пять из тринадцати видов двустворчатых моллюсков, больше чем половина брюхоногих моллюсков и одиннадцать из тридцати трех ракообразных. Многие из населяющих озеро видов, в особенности брюхоногие, обнаруживают значительное сходство с морскими формами. Оз. Танганьика населено примерно до глубины 200-230 м, ниже этой отметки наблюдается высокая концентрация сероводорода и жизнь отсутствует до самого дна. Этот слой озера является огромным "могильником", состоящим из органического ила и осадочных минеральных соединений.





**Рис. 1.21.** Уловы рыбы в оз. Танганьика по данным: Coenen, 1995; Plisnier, 1995.

Высшая водная растительность оз. Танганьика представлена воздушно-водными макрофитами: папирусом (*Cyperus papyrus*), рогозом (*Typha* sp.), осоками (*Carex* spp.); плавающими: кувшинками (*Nymphaea* sp.), чилимом (*Trapa* sp.), азоллой (*Azolla* sp.), пистией (*Pistia* sp.); погруженными: рдестом (*Potamogeton* sp.), роголистником (*Ceratophyllum* sp.), пузырчаткой (*Utricularia* sp.). В фитопланктоне диатомовые водоросли составляют 17% биомассы (Hecky et al., 1978), в том числе род *Nitzschia* и *Stephanodiscus*, также многочисленны зеленые: *Kirchneriella*, *Treubaria*, золотистые: *Chrysochromulina parva*, *Chromulina* sp., сине-зеленые: *Chroococcus limneticus*, *Anabaena*

В зоопланктоне доминируют весло-ногие ракообразные подотряда колонииды, в т.ч. вида *Diatomus simplex*, медузы (*Limnocoeloides tanganyikae*), которые периодически достигают нескольких сантиметров в диаметре. Ветвистоусые ракообразные в открытых водах отсутствуют, и встречается только два вида циклопид (Burgis, M.J. 1984) (Bont, A.F. 1972). Пик развития веслоногих приходится на июнь-сентябрь и ноябрь. Бентос представлен: моллюсками: *Grandideria burtoni*, *Brazzaea anceyi*, *Tiphobia horei*, *Bythoceras iridescens*, *Paramelania damoni*, ракообразными: *Platytylphusa armata*, и комарами-звонцами.

В рыбном населении озера Танганьика доминируют танганьикский шпрот или ндагала

*Stolothrissa tanganyikae*, и танганьикская сардина *Limnothrissa miodon*. Их рацион питания преимущественно состоит из зоопланктона. Танганьикский шпрот и сардина, в свою очередь, являются объектом добычи представителей окуневых, в т.ч. *Lates stappersii*, которые в молодом возрасте также питаются зоопланктоном. Кроме того, в озере многочисленны представители цихлид – лампрологусы: *Lamprologus elongatus*, *L. modestus*, *L. toae*, *L. tetrocephalus* (Nagoshi, M. 1985) и батхибат *Bathybates minor*, а также ламприхтис танганьикский *Lamprichthys tanganyicus*, энграулициприс *Engraulicypris minutus*, окунь *Lates mariae*, и окунь тангань-икский *L. angustifrons*. Нижняя граница слоя воды, пригодного для обитания рыб проходит на глубине 100-230 м. Согласно материалам ИЛЕС (1984) на уровень начала 1980-х гг. в озере было описано 214 видов ихтиофауны из которых 176 являлись эндемиками. При этом среди пелагических видов (обитающих в открытых водах) эндемизм составляет 100%, а среди представителей семейства хромисов, предпочитающих прибрежное мелководье – 97%. Необходимо подчеркнуть, что регулярно в озере обнаруживаются новые виды рыб. Согласно Jorgensen et al. (2005) в озере описано 325 видов рыб из которых 177 эндемики семейства цихлид.

Главный объект промысла на оз. Танганьика – танганьикский шпрот или “ндагала” и тангань-

икская сардина, составляющие от 55 до 90% от общего вылова (Rufli 2001), а также окунь (*Lates stappersii*), тилапия и протоптерус. Коммерческий лов рыбы в озере начат с середины 1950-х гг., в середине 1960-х годов начался масштабный промышленный лов. Согласно данным FAO объем вылавливаемой в озере рыбы с 1960-х по 1970-е гг. повысился почти вдвое, с 40 000-60 000 до 80 000–100 000 тонн, после чего до конца века колебался в пределах 100 000-160 000 тонн (рис. 1.21). На начало 2000-х гг. уловы составляли около 200 000 тонн.

На озере Танганьика действует около 10 фирм, занимающихся отловом аквариумных видов рыб. В данный момент в Бужумбуре (Бурунди), находится известная фирма-экспортер цихлид Танганьики "*Fishes of Burundi*", руководимая Мирей Шрейан. Мирей Шрейан ведет также большую научную работу, основываясь на трудах своего отца Пьера Бришара. К северо-востоку от Мпулунгу, находится фирма "*Kalambo Fall Lodge*", руководимая англичанином Тоби Вилом, организовавшим здесь станцию-ферму по отлову, передержке и выращиванию цихлид. Именно из оз. Танганьика производится самый большой экспорт экзотических видов рыб в аквариумы различных городов планеты. Вылов цихлид требует очень разумного и взвешенного подхода, поскольку перелов немногочисленных видов может привести к их быстрому исчезновению и потере биологического разнообразия озера.

В озере Танганьика живут гиппопотамы, крокодилы, много водоплавающей птицы.

#### **Антропогенная активность в бассейне**

Площадь водосбора оз. Танганьика составляет 263000 км<sup>2</sup>, здесь на уровень 2010-х г. проживает около 12 млн. человек, темпы ежегодного прироста населения составляют 2.5-3.1% (Jorgensen et al., 2005). Основное занятие жителей – сельское хозяйство, по плотности сельского населения бассейн оз. Танганьика является одним из наиболее густонаселенных регионов мира. На водосборе выращиваются кукуруза, табак, рис, сахарный тростник, кофе, фасоль, арахис и маниока. Широкое развитие имеет также животноводство, специализирующееся на разведении крупного рогатого скота и коз. Основные отрасли промышленности – горно-добывающая (олово, медь, уголь) и обрабатывающая (преимущественно пищевая). Также для местной экономики важной отрас-

лю является рыболовство. Рыба служат главным источником белка для местных народов, и обеспечивает 25-40% потребности местного населения в протеине. В настоящее время около 45 000 человек непосредственно вовлечены в рыбную ловлю и приблизительно 100 000 человек, занято в рыбной промышленности. Через озеро проходят транспортные связи между странами, находящимися в его бассейне. В последние десятилетия постепенно развивается туризм. Наиболее привлекательны для туристов Национальные парки, созданные по берегам озера. Большой популярностью пользуется рыбалка.

Все четыре страны, расположенные в бассейне озера, относятся к категории развивающихся, с низким уровнем экономики. Внутренний Валовой Продукт на душу населения составляет в Замбии 1500, в Танзании – 1400, в Бурунди – 400, и в ДР Конго – 300 долларов США, годовой доход жителей оценивается в 320, 240, 120, 110 долларов США, соответственно (Jorgensen et al., 2005). Инфраструктура наиболее развита на севере и юге озера. Крупнейшим городом-портом является Бужумбура с населением около 400000 человек, следующие по значимости города Калемие (Конго, население около 350000 человек) и Кигома (Танзания, население около 150000 человек). Бедность и высокие темпы роста населения не позволяют обеспечить всех жителей водопроводом, системой очистки воды и необходимой санитарией. Лишь немногим более половины проживающего на водосборе населения имеет доступ к воде, прошедшей через системы обработки (Jorgensen et al., 2005). В связи с этим в регионе высокий процент инфекционных и желудочно-кишечных заболеваний.

#### **Проблемы качества воды**

В последние десятилетия оз. Танганьика, наряду с другими озерами Восточно-Африканского Рифта, начинает испытывать на себе существенное антропогенное давление. В силу огромной водной массы озера, значительных изменений качества воды пока не выявлено, озеро остается олиготрофным практически по всей территории. Однако ряд последствий уже начинает проявляться, особенно в прибрежной зоне. Необходимо отметить, что до 90-х годов XX века надежных работ по изучению качества озерной воды не проводилось. Одними из первых масштабных исследований явилась

экспедиция USGS, направленная на изучение речного притока в озеро. По результатам проведенных работ Swarzenski, 1999 приходит к выводу, что значительной угрозой для биологической вариативности озера является усиливающаяся седиментация. Ее наиболее явное проявление имеет место в северной и южной, сильно заселенных, частях водосбора, где происходит рост сельскохозяйственных площадей, сопровождающийся широкомасштабным сведением лесов. На севере сведены почти все естественные леса, тогда как в центральной части около половины (Jorgensen et al., 2005). Многие участки, отвоеванные фермерами у тропического леса, расположены на крутых склонах, в непосредственной близости к озеру. Слабая сельскохозяйственная практика приводит к очень высокой эрозии почв и их масштабному смыву. Смываемые макрочастицы откладываются в виде мелкозернистых илов и глин в скалистых речных дельтах. Нормы осадконакопления в дельтах рек, водосборы которых наиболее затронуты эрозией, составляют до 100 см/год (Swarzenski, 1999).

Угроза биологическому разнообразию прибрежной зоны, вызываемая седиментацией, связана не только с уменьшением сред обитания, но и с привнесением в озеро со стоками значительного количества биогенного вещества. Тем более, что при сведении лесов, особенно тропических, масса неиспользуемого древесной растительностью биогенного вещества резко возрастает, а вместе с ней и нормы ее вымывания. Наибольшее количество стоков поступает в озеро по р. Русизи и Малагараси.

Необходимо отметить, что оз. Танганьика лимитировано как по фосфору, так и по азоту. Высокое соотношение азота к фосфору свидетельствует о том, что ограничение по фосфору более выражено. Согласно Brion et al. (2006) около 90% поступления общего азота с речным стоком в северную часть озера обеспечивает река Русизи. Большая часть поступающего азота представлена в виде нитратов. В результате продуктивность фитопланктона вблизи впадения р. Русизи существенно выше, чем в соседних регионах. Содержание фосфатов, нитратов и нитритов в воде небольших притоков, впадающих в северную часть озера, составляет 60-280 мкг/л, 1-240 мкг/л и 3-6 мкг/л, соответственно. Для залесенных водосборов они ниже, чем для распаханых. Со-

гласно Lombardozzi et al. (2003), средние значения фосфатов для зале-сенных и освоенных водосборов составляют 110 и 150 мкг/л, нитратов – 31 и 82 мкг/л, соответственно. Несмотря на повышающийся в последние десятилетия привнос биогенного вещества в оз. Танганьика, концентрации общего азота и фосфора в его поверхностных водах остаются невысокими. Концентрации  $PO_4-P$  большую часть года находятся в пределах точности определения (5-10 мкг/л), несколько повышаясь в декабре-феврале до 8-11 мкг/л (Langenberg et al., 1997). Концентрации общего азота изменяются от 40 до 180 мкг/л. Согласно Langenberg et al. (1997) и Jorgensen et al. (2005), значительный биогенный привнос в озеро происходит с дождями. Однако поступление биогенного вещества и с речным стоком, и с дождями несопоставимо мало (Hecky and Fee, 1981, Langenberg et al., 2003) по сравнению с внутренней нагрузкой водоема, то есть с накопившимися многовековыми запасами, сосредоточенными в гипolimнионе.

Важнейшей проблемой в прибрежной зоне оз. Танганьика становятся городские и промышленные стоки. Среди наиболее сильных источников загрязнения необходимо назвать стоки г. Бужумбура (северная оконечность озера), а также практически не обрабатываемые стоки других городов, расположенных на побережье. Побережье в районе г. Бужумбура (Бурунди) является одним из наиболее загрязненных регионов озера, тем более, что отличается относительно небольшими глубинами. При содействии Мирового Банка в Бужумбуре были построены очистные сооружения, способные обработать около 40% коммунальных и промышленных стоков, однако должным образом они пока не функционируют (Jorgensen et al., 2005). Значительное загрязнение обнаружено также близ городов Кигоме (Танзания), Мпулунгу (Замбия), Увире и Калемие (ДР Конго). Промышленные и городские стоки содержат органические вещества, а также тяжелые металлы (ртуть, хром), пестициды и др. В последнее время возникает угроза нефтяного загрязнения за счет аварийных ситуаций на водном транспорте (Jorgensen et al., 2005).

Кроме седиментации, коммунального и промышленного загрязнения одной из назревающих проблем является чрезмерный вылов рыбы, угрожающий истощением рыбных запасов в прибрежной зоне. Кроме того, в пос-

ледные десятилетия в бассейне озера происходит постепенное развитие туризма, который, при плохом планировании, также может угрожать экологии водоема и водосбора.

Возникающие угрозы качеству озерной воды и его биологическим ресурсам требуют скоординированной политики и рационального водопользования. При этом необходимо учесть, что в ближайшие два десятилетия темпы прироста населения останутся на уровне 2-3% в год, что еще больше усилит давление на водные и рыбные ресурсы и увеличит количество стоков. Необходимость в производстве дополнительного количества пищи потребует расширения посевных площадей, что на сегодняшний день неизбежно связано со сведением лесов на водосборе, а значит, темпы седиментации вырастут еще больше. Развитие промышленности без должной обработки сточных вод увеличит загрязнение воды. Поскольку время водообмена оз. Танганьика (приток/объем воды) составляет около 600 лет, а соотношение отток/объем воды около 1900 лет, любое попадающее в озеро загрязнение становится, по меркам человеческой жизни, практически постоянным. Так что принятие мер по сохранению качества воды и биологических ресурсов оз. Танганьика важнейшая задача.

### ***Проблема изменений климата***

Оз. Танганьика является очень чувствительным к изменениям климата (Plisnier et al., 1999). Ветровая деятельность и изменения температуры воздуха определяют перемешивание водной массы, позволяя нижним, более богатым биогенным веществом слоям воды, подниматься к поверхности, где они вовлекаются в биогенное производство. Глобальное потепление климата сказывается на изменении климатических условий Восточной Африки, и, соответственно, на гидродинамическом режиме озера и его биоте. Согласно публикации O'Reilly et al. (2003) глобальное потепление климата наносит вред экосистеме озера, приводя к снижению его рыбных запасов. Вследствие наблюдавшегося за последние 30 лет повышения приземной температуры воздуха на 0,6°C, сопровождавшегося ростом температуры воды и снижением скоростей ветра, циркуляция воды в пределах оз. Танганьика снизилась. Это, в свою очередь, отразилось на перераспределении биогенного вещества. В результате первичная продуктивность озера Танганьика могла уменьшиться на 20%, а его

рыбные запасы - на 30% (O'Reilly et al. 2003). Дальнейшее повышение температуры продолжит негативно сказываться на озерной продуктивности. Материалы проекта ENSO (Plisnier et al., 2000) также свидетельствуют об уменьшении продуктивности озера при климатических условиях, приводящих к росту температуры воздуха и снижению скоростей ветра.

### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

В связи с возрастающей угрозой экологическому состоянию оз. Танганьика, необходимо принятие мер по сохранению его рыбных ресурсов, биоразнообразия, сохранению качества воды и снижению количества привносимых наносов. Управление ресурсами оз. Танганьика существенно усложняется из-за того, что его водосборный бассейн поделен между четырьмя государствами. Скоординированные действия требуют взаимопонимания всех прибрежных наций, участвующих в решении проблем. Для возможности выработки совместных решений во всех странах существуют, по крайней мере, учреждения, ответственные за рыбную ловлю. Однако, для участия в решении других вопросов, касающихся экологии, инфраструктура прибрежных стран пока плохо подготовлена (Jorgensen et al., 2005).

С 1960-х гг. благодаря проектам FAO по внутренней рыбной ловле в странах Африки, начата попытка скоординированного на региональном уровне управления озером Танганьика в области его рыбных запасов и рыбной ловли. На встречах, организуемых FAO с 1970-х годов, на национальном и региональном уровне обсуждались вопросы управления рыбными запасами, правила рыболовства и статистические вопросы. Но, к сожалению, большинство рекомендаций, предложенных на этих совещаниях, в дальнейшем не были учтены. В 1992 г. по инициативе Финляндии на оз. Танганьика была начата программа исследования озера (Lake Tanganyika Research Project (LTR)). Цель программы состояла, прежде всего, в исследовании биологических ресурсов и рыбной ловли и разработке методов рационального управления озерными ресурсами. В 1995 Global Environment Facility финансировало пятилетний проект, "Контроль загрязнения и другие меры по защите биологической вариативности оз. Танганьика". Одним из результатов проекта стала разработка Стратегического Плана Действий для жизнеспособности озера.

собного управления оз. Танганьика (SAP). Кроме Стратегического Плана в результате совместной работы юристов и высокопоставленных чиновников четырех прибрежных стран было выработано Соглашение по жизнеспособному управлению оз. Танганьика (Convention for the Sustainable Management of Lake Tanganyika). С 2001 г. были определены следующие приоритетные направления: очистка коммунальных и промышленных стоков из г. Бужумбура, контроль за седиментацией в средней части бассейна, принятие мер для предотвращения истощения рыбных запасов в прибрежной зоне и разрушения среды обитания. История принятия совместных решений свидетельствовала о необходимости участия всех партнеров на всех стадиях Проекта, от концепции до выполнения согласованных действий. В результате в 2002 г. был запущен новый проект Lake Tanganyika Management Planning Project (LTMPP), цель которого состояла в том, чтобы подготовить условия для выполнения Стратегического Плана Действия (SAP), согласовав все юридические вопросы между четырьмя странами. С 2004 г. оз. Танганьика стало центром инициативы IUCN (International Union for Conservation of Nature), направленной на контроль ресурсов озера. Согласно пятилетнему плану работ было необходимо определить качество озерной воды и выявить допустимые уровни загрязнения и седиментации. В результате выполнения проекта предполагается разработка дальнейшей программы по управлению ресурсами озера и его водосбора.

Несмотря на то, что региональные механизмы управления еще не отработаны, ряд международных организаций (UNDP/GEF, Африканский Банк Развития (AFDB), FAO, IUCN) принимают участие в финансировании программ по оз. Танганьика. Кроме африканских специалистов в работах по озеру принимают активное участие, ученые из ряда Европейских стран, США и Японии. Так лимнологическими, палеолимнологическими и палеоклиматическими исследованиями занимаются ученые Университета Аризоны. На севере Конго, в Увире, располагается I.R.S.A.C. – научно-исследовательский институт центральной Африки, в котором базируется конголезский филиал "Lake Tanganyika biodiversity" - организации, занимающейся вопросами экологии озера и находящейся под патронажем ООН.

Важнейшим условием успешности осуществ-

ляемых программ является участие в них всего населения, поэтому актуальной задачей является максимальное вовлечение в проекты местных жителей. Это требует организации общественных слушаний по управлению озером на которых граждане получают информацию о ходе продвижения проектов и имеют возможность высказать свои соображения по основным вопросам (Jorgensen et al., 2005).

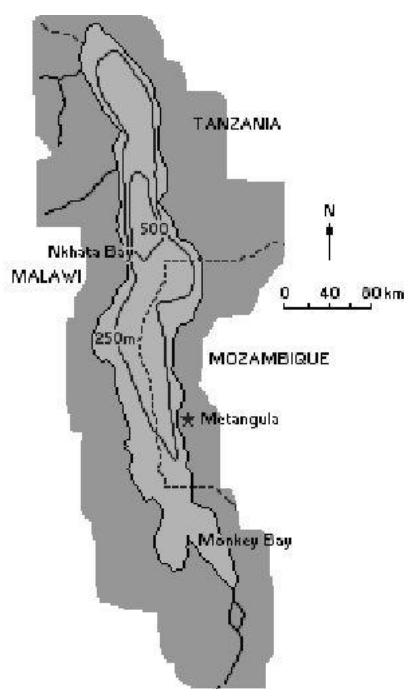
С целью сохранения и поддержания местных экосистем в Танзании (Махале, Гомбе Стрим), в Бурунди (в дельте реки Рузизи) и в Замбии (Нсумбу) расположены национальные природные заповедники, обладающие уникальными природными ресурсами.

### 1.5. ОЗЕРО НЬЯСА (МАЛАВИ)

Озеро Ньяса - наиболее южное, третье по величине и второе по глубине из больших Африканских Рифтовых озер. Его координаты: 9°30'-14°30'ю.ш.; 33°57'-34°51'в.д., урез воды находится на высоте 474 м над уровнем моря. Страны Малави, Мозамбик, Танзания расположены по берегам озера, первые две из них контролируют 79 и 21 % его водной поверхности, соответственно (рис. 1.22). Длина береговой линии составляет около 1500 км, из которых 300 км принадлежат Танзании. Длина озера - 580 км, ширина - 75 км, площадь водного зеркала 29500 км<sup>2</sup> (ПЕС), средняя глубина - 292 м, максимальная – 706 м. Оз. Ньяса - пятое по объему воды озеро в мире (8400 км<sup>3</sup>) и одно из 20 древнейших озер на земле, содержащее богатейшую рыбную фауну, вероятно самую богатую в мире. Принадлежит бассейну р. Замбези.

Оз. Ньяса занимает часть южного конца системы Восточно-Африканской рифтовой зоны в том ее месте, где африканская плита раскалывается на две части. Котловина озера образовалась около 1-2 млн. лет назад (Johnson, Ng'ang'a 1990; Owen, et al. 1990) и представляет собой сложный многоступенчатый грабен. Его дно постепенно повышается к северу и югу. В отличие от оз. Танганьика, оз. Ньяса состоит из единственного бассейна с максимальной глубиной 706 м около западного берега, приблизительно 45 км к северу от зал. Нката. Озеро по большей части своего побережья ограничено выступами тектонических изломов, особенно на севере и востоке, и обрамлено высокими (1500-3000 м) глыбовыми

горами и плоскогорьями. Северный и восточный берега крутые, скалистые с плохо развитым шельфом, так что прибрежные глубины составляют более 200 м. В южной оконечности озера и по южной половине западного побережья береговая линия более мягкая, здесь кроме скалистых берегов есть и песчаные. Небольшая часть побережья заболочена. Почвы на водосборе преимущественно обедненные, состоящие в значительной степени из продуктов разрушения подстилающих их пород метаморфического и магматического происхождения - гнейсов, кристаллических сланцев и гранитов. Лишь равнинные плато покрыты мощными делювиальными почвами (Carter et al., 1973).



**Рис. 1.22.** Озеро Ньяса. Источник: LBRI&ILEC. 1989.

В периоды наибольших засух оз. Ньяса, скорее всего, полностью не пересыхало, но очень сильно сокращалось в размерах. Его глубина при этом не превышала 125 м. Ряд авторов, ориентируясь на возраст обнаруживаемых в озере цихлид, указывают, что современный водоем существует всего 40000-90000 лет, то есть он появился после последней крупнейшей засухи в Африке.

#### ***История заселения и роль озера в жизни окружающих народов***

Первые поселения вокруг оз. Ньяса появились еще в период неолита. В начале I тысячелетия, когда большую часть региона заселяли ското-

водческие племена, на территорию Танзании и Мозамбик пришли племена банту. В XIV—XVIII вв. на западном берегу озера возникло объединение Марави, однако вражда отдельных племен мешала объединению.

Первым европейцем, достигнувшем берегов оз. Малави в 1859 г. является Девид Ливингстон, который и дал озеру имя «Ньяса». С конца XIX в. начинается колониальный этап развития народов, живущих по берегам озера. Большая часть территории, окружающей оз. Ньяса, вошла в состав английской колонии Ньясаленд. Кроме того, к Ньясаленду уже к началу XX в. отошли находящиеся близ восточного побережья острова Ликома и Чизумул, которые изначально были колонизованы Шотландией, сегодня они формируют озерные анклав Малави, окруженные мозамбикскими водами. Восточное побережье оз. Ньяса сначала вошло в состав Португальских колоний, протягивавшихся от побережья Индийского океана вглубь страны, затем, та их часть, которую сегодня занимает Танзания, перешла к Германии, а во владении португальцев остался лишь Мозамбик. К началу XX в. Португалия уступила управление ряда своих территорий трём частным британским компаниям, соединившим посредством строительства железных дорог Мозамбик с колониями Великобритании. По результатам I Мировой войны под английскую юрисдикцию перешли немецкие колонии. В начале 1960-х годов колониальный режим начал распадаться. В феврале 1963 г. Ньясленд был объявлен самоуправляющейся территорией и в июле 1964 г. была провозглашена независимость Малави. Главой государства стал Хастингс Банда, политика которого была ориентирована на Великобританию, Западную Германию и США. Диктатура Банда вызывала недовольство многих политиков как внутри страны, так и у стран-соседей, однако она продержалась до 1994 г. В декабре 1963 г. Великобритания объявила о независимости Занзибара, который, объединившись в апреле 1964 с Танганьикой, образовал государство Танзания. Мозамбик получил независимость лишь в июне 1975 г. В течение двух последующих десятилетий на его территории велись постоянные гражданские войны.

После распада колониальных империй остался ряд вопросов, уходящих своими корнями еще в период колонизации. Так Танзания, согласно международному соглашению о границах, не имеет своей доли озерной территории, но пре-



тендует на 5569 км<sup>2</sup> вод, принадлежащих Малави. Современные границы были установлены по их состоянию на момент распада колоний. При этом Танзания в момент ее перехода во время I-ой Мировой войны под английскую опеку потеряла озерные территории, тогда как до 1914 года границы между немецкими и британскими колониями проходили по озеру. Малави категорически противится пересмотру границ в пользу Танзании. Название озера также является предметом постоянного диспута: Малави утверждает, что озеро должно носить имя «Малави», в то время как на международных картах и в Танзании озеро носит имя «Ньяса». После объявления о независимости большей части Африки единственным африканским президентом, установившим дипломатические отношения с белой Южной Африкой, был президент Малави Банда. Это вызывало категорический протест у соседних государств и, прежде всего, у президента Танзании. Враждебная политика двух государств по отношению друг к другу стимулировала обострение споров по вопросам о границах и названии озера. К началу XXI в. отношения между двумя странами наладились, но спорные вопросы не имеют единого решения до настоящего времени. Периодически возникают недовольства и взаимные претензии по поводу лова рыба танзанийскими рыбаками в малавийских водах.

Оз. Ньяса играет важную роль в жизни народов, обитающих по его берегам. Озеро обеспечивает нужды сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения, гидроэнергетики. Его рыбные ресурсы являются важнейшим источником питания местных жителей, обеспечивая около 70% потребляемого белка (Vuligani et al., 2001), и вносят определенный вклад в экономику стран региона, прежде всего Малави. Рыбные ресурсы являются одной из статей экспорта. Особую роль в экспорте играют цихлиды, приобретаемые как аквариумные рыбки во всем мире. Однако прибыль от их продаж невелика, на конец XX в. она составляла 276000 \$ в год (Msiska 2001). Через озеро проходят транспортные магистрали внутри стран и между странами, обеспечивающие как пассажирские, так и торговые перевозки. Водный транспорт является единственным звеном, связывающим государство Малави с принадлежащими ему островами, расположенными вдоль Мозамбикского берега. Ряд населенных пунктов не имеет хороших портов, в которые

могут заходить теплоходы, так что подвоз пассажиров до берега осуществляется на небольших шлюпках.

### ***Характеристики термического режима.***

Водосбор оз. Ньяса находится в пределах тропического климата, характеризующегося, несмотря на близость к экватору, наличием сезонных изменений в температуре, ветре и осадках. В регионе достаточно четко выражены два сезона - дождливый, продолжающийся с ноября по май, и засушливый, с мая по ноябрь. Средняя годовая температура составляет 27-28°C. В январе регистрируемый максимум на разных станциях - 28-30°C, минимум - 21.3-21.9°C; в июле - 25-27°C и 13.5-15.5°C, соответственно. Годовые осадки на поверхность озера колеблются от 650 мм около Мангочи до 2000 мм в районе зал. Нката и 2500 мм около северного края озера. (Eccles, 1974)

Оз. Ньяса относится к меромиктическим водоемам; для него характерна устойчивая, но периодически ослабленная температурная стратификация с небольшим градиентом температуры и солености (Wüest et al., 1996). Слой температурного скачка варьирует по сезонам от 50 до 350 м. По термогалинной стратификации в озере выделяются три слоя: эпилимнион, металимнион и гиполимнион. В мае верхний гомотермальный слой имеет мощность 60 м с температурой 27°C. В течение сухого и ветреного прохладного сезона эпилимнион остывает, и мощность его увеличивается до 105 м. Более прохладный металимнион простирается до глубины 220 м. В пределах металимниона наблюдаются значительные вертикальные градиенты кислорода и биогенного вещества. Гиполимнион простирается с глубины 220 м до дна, он представляет собой «мертвый» слой полностью лишенный кислорода и богатый накопившимся за тысячелетия биогенным веществом. Температуры эпилимниона варьируют по сезонам в пределах 23.5-28.5°C, температура гиполимниона в течение всего года находится около отметки 22°C.

### ***Водный баланс Уровенный режим***

Озеро Ньяса питают 14 крупных рек, самой многоводной из которых является р. Рухуху, обеспечивающая около 20% речного притока (Kidd 1983), другие крупные притоки – р. Сонгве, Рукуру, Лилова, Бва, Лилонгве. Отток происходит по р. Шире, притоку р. Замбези. С речным притоком в озеро поступает 29 км<sup>3</sup>

График уровня воды оз. Ньяса, 1895-2010 гг.



**Рис. 1.23.** График уровня воды оз. Ньяса, 1895-2010 гг. по данным Dryton (1984), Vollmer et al. (2005), а также по данным спутников Topex/Poseidon и Jason-1

(43%) воды в год; с осадками – 39 км<sup>3</sup> (57%); с поверхности озера испаряется 57 км<sup>3</sup> (84%), на отток приходится 11 км<sup>3</sup> (16%) (Bootsma et al., 2003). Значительная роль осадков в приходной части водного баланса и преобладающая роль испарения в его расходной части свидетельствуют о высокой чувствительности водоема к климатическим изменениям. Большой период водообмена делает его чувствительным к загрязнению, которое, попадая в озеро, остается в нем на длительный период.

Амплитуда сезонных колебаний уровня воды оз. Ньяса обычно не превышает 0.7-1.8 м. Существенно большей является амплитуда многолетних колебаний; за 100-летний период она составила около 8 м (Dryton 1984), рис. 1.23. Катастрофически высокие уровни наблюдались на озере в 1979-1980 гг., а низкие – в начале XX в. К 1915 г. из-за очень сильного падения уровня отток из озера прекратился, и для его восстановления потребовалось около 20 лет (Dryton 1984, Kidd et al., 1999).

В 1960 г. в верховьях р. Шире была построена плотина, обеспечивающая регулярный отток из озера для возможности постоянной работы гидроэлектростанций, возведенных в последующие годы ниже по течению. В связи со строительством плотины в следующие два десятилетия на озере сохранялись высокие уровни воды, которые по расчетам Dryton (1984) на 20-40 см превышали естественные. В 1997 г. Уровень озера опять снизился до значений, угрожаю-

щих оттоку, но, уже со следующего года, начал быстро расти. В отличие от многих озер Африканского Рифта оз. Ньяса в последнее десятилетие демонстрирует тренд повышения уровня.

Значительные колебания уровня воды, характерные для оз. Ньяса, приводят к изменениям прибрежных низменностей. При повышении уровня происходит подтопление пригодных для обработки земель, страдает система коммуникации и очистные сооружения. Падения уровня превращают в суходолы участки, обычно заливаемые водой во влажный сезон, нарушают работу электростанций, построенных на р. Шире. Колебания уровня негативно сказываются и на работе причалов.

#### **Основные характеристики качества вод**

Открытые воды оз. Ньяса характеризуется высокой прозрачностью, от 13 до 23 м, в зависимости от сезона. Прибрежные воды более мутные, особенно в период дождей. Минерализация невысокая, электропроводность 210-285 мкС/см; жесткость по кальцию 107-142 мг/л; реакция среды щелочная, 7.7-8.6. Для верхнего 100-метрового слоя характерны достаточно высокие концентрации кислорода (рис. 1.24), на глубине более 200 м кислород практически всегда отсутствует. В оз. Ньяса, как и в оз. Танганьика, основная масса биогенного вещества сконцентрирована в гипolimнионе. В поверхностные слои биогенное вещество поступает за счет процессов перемешивания, происходящих, прежде всего, в

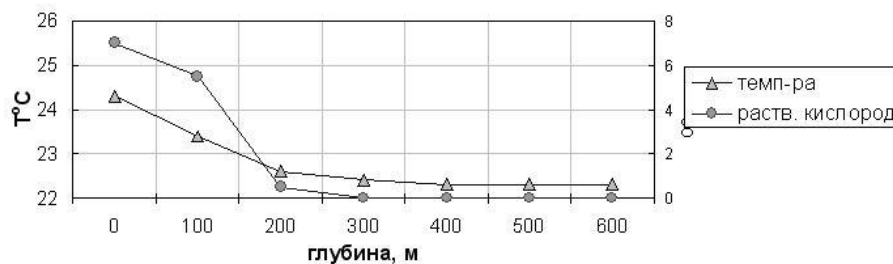


Рис. 1.24. Изменение температуры воды и концентрации кислорода оз. Ньяса с глубиной по данным ILEC.

периоды повышенной ветровой деятельности. Наиболее сильные ветры наблюдаются в зимний период, с мая по октябрь, когда в регионе господствуют юго-восточные пассаты, врывающиеся в узкий, открытый к югу грабен Ньяса как в аэродинамическую трубу. В отличие от оз. Танганьика, в это время года в южной части озера перемешиванию подвергается практически вся водная масса, а в северной – верхний 400-метровый слой, охватыва-

ющий как эпи-, так и меза- и гипolimнионные воды. В результате, южная часть озера является более производительной, (Hamblin et al.), особенно к концу ветрового сезона. По своему трофическому статусу оз. Ньяса является переходным от олиготрофного к мезатрофному. Согласно данным ILEC, концентрация хлорофилла-а в эпилимнионе составляет 0.2-0.7 мкг/л (рис. 1.25). Подробных наблюдений за качеством воды оз. Ньяса не проводилось.

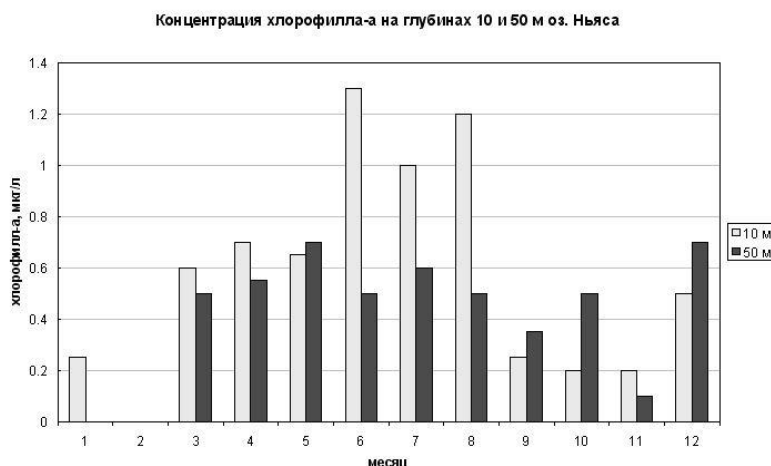


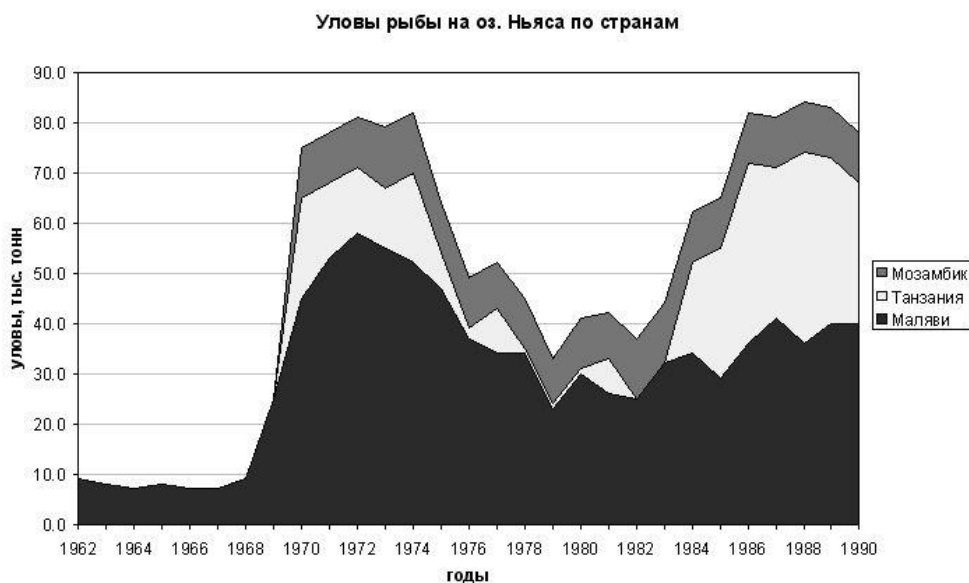
Рис. 1.25 Концентрация хлорофилла-а на различных глубинах оз. Ньяса, мкг/л, ст. Метангула, по данным ILEC.

### Основные биологические особенности

Для оз. Ньяса характерна богатая и высоко эндемичная фауна, родственная фауне Замбези. Среди высшей водной растительности доминирует камыш мавританский *Phragmites mauritianus*. Состав фитопланктона существенно различается по сезонам года. Наиболее многочисленны диатомовые, которые доминируют в течение всего ветряного сезона, а иногда и в течение года. В конце ветряного сезона, с сентября по ноябрь, доминирование может переходить к сине-зеленым. В этот период возмож-

ны расцветы *Anabaena* spp., особенно на наиболее загрязненных участках. С декабря по апрель фитопланктон примерно в равной степени состоит из представителей диатомовых, сине-зеленых и зеленых водорослей. В зоопланктоне наиболее многочисленны копеподы: *Mesocyclops leuckarti*, *Diaptomus* sp. и клadoцеры: *Diaphanosoma excisum*, *Bosmina longirostris* (LBRI&ILEC. 1989). Кроме того, в озере очень большое количество улиток.

Согласно данным UNEP, WCMC (United Nations Environment Programme, World Conservation Monitoring Centre) в оз. Ньяса описано



**Рис. 1.26.** Уловы рыбы на оз. Ньяса по данным Greboval et al. (1994)

около 500 видов рыб, эндемичных на 90%, и являющихся представителями 11 семейств. В силу того, что многие виды не описаны, ряд специалистов указывает, что в озере обитает около 1000 разновидностей рыб (Msukwa, 2001, Nkatunga, 2001). Наибольший эндемизм характерен для семейства цихлид, среди которых все кроме 5 видов являются эндемиками. В водах оз. Ньяса обитает около 30% известных в мире видов цихлид. Особенно славится переливающаяся всеми цветами радуги небольшая рыбка «мбуна». Считается, что более 70% видов, принадлежащих к семейству цихлид, пока не описаны. Благодаря высочайшей биологической вариативности озеро Ньяса признается как часть мирового наследия.

Согласно данным ИЛЕС в рыбном населении оз. Ньяса доминируют: киприниды *Labeo mesops* и *Opsaridium microcephalus*, сомообразные: *Bagrus meridionalis* и *Bathyclarias* sp., и цихлиды: *Oreochromis squamipinnis*, *O. shirana*, *O. saka*, *Tilapia redalli*, *Haplochromis kiwinge*, *H. livingstonii*, *H. taeniolatus*, *H. phenochilus*, *Lethrinops* sp., *Pseudotropheus* sp., *Labidochromis* sp., *Labeotropheus* sp., *Serranochromis thumbergi*, *Rhamphochromis* sp. (LBRI&ILEC. 1989) Основными промысловыми видами являются на литорали - представитель семейства цихлид - хаплохромис *Haplochromis* spp, в открытых водах - сардина *Engraulicypris sardella*, а также цихлид *Oreochromis*. Кроме того, промысловыми видами являются цихлиды *Lethrinops* spp. (чисавасава) и *Copadochromis*

(утака), представители семейств костяковые и клариевые. Их вылов производится преимущественно тралением, начатым в озере с 1968 г. Этой техникой отлавливается около 160 видов рыб (Greboval et al., 1994), преимущественно представителей цихлид. Приблизительно 80 разновидностей принадлежат роду *Copadochromis* и 30 разновидностей - роду *Lethrinops*.

Из-за большого количества мелких рыболовных кооперативов, а также из-за отсутствия в прибрежных странах организаций, занимающихся четким учетом рыбной ловли, данные по уловам весьма приблизительны, и сильно различаются у разных авторов. По оценкам ФАО средние уловы в оз. Ньяса после введения техники траления составляют 30000-80000 тонн в год (рис. 1.26). Потенциальные уловы озера, опираясь на производительность в 30-40 кг/га, оцениваются в 73200-97600 тонн/год (Greboval et al., 1994). На конец XX в. в рыбной ловле было занято около 22000 человек, а в сфере обработки уловов - более 300000 чел. Рыбная ловля развита, прежде всего, в Малави. Мозамбик принимает в ней лишь небольшое участие из-за малонаселенности и значительной удаленности основных населенных центров от берега. Крупные города Танзании также удалены от озера, однако Танзания более активно участвует в рыбной ловле, но исключительно в прибрежной зоне. Периодически возникают юридические споры по поводу лова рыбы танзанийскими рыбаками в малавийских водах.

В последние десятилетия в оз. Ньяса наблюдается снижение запасов наиболее ценных видов рыб. В результате уловы рыбы к началу XXI в. сократились, особенно в южной части озера. Согласно Irvine et al., 2002, наиболее заметное снижение численности отмечается для сомообразных: *Bagrus* и *Bathyclarias* spp., кипринид: *Opsaridium microlepis*, *Labeo mesops* и *L. cylindricus* и цихлид *Oreochromis* spp. (например чамбо). Причинами снижения рыбных запасов считаются чрезмерный вылов некоторых видов, использование незаконных механизмов лова, приводящее к отлову более мелких особей и тормозящее нормальное воспроизводство, ухудшение качества воды и изменения структуры фитопланктона. Несмотря на наблюдающиеся изменения структуры рыбного населения, видовое разнообразие оз. Ньяса пока не пострадало. Однако угроза исчезновения ряда видов существует.

В результате снижения уловов в оз. Ньяса потребление рыбы местными жителями сократилось. В Малави оно снизилось с 14 кг в 1970-е гг. до 6 кг в начале 2000-х гг (Nindi, 2007). Кроме того, в рацион питания теперь входят менее ценные виды рыб, которые раньше не употреблялись.

Достаточно прибыльной отраслью экономики на оз. Ньяса является разведение и отлов аквариумных видов рыб, преимущественно семейства цихлид. Озерные цихлиды подразделяются на две основные группы: хаплохромисы (*Haplochromines*), многие из которых находятся под угрозой исчезновения, и тилапии (*Tilapiae*), многие из которых являются промысловыми. Представители обеих групп популярны у аквариумистов. Аквариумисты разделяют цихлид на «мбуна», заселяющих неглубокие скалистые прибрежные участки, и «павлиньи», обитающие в открытых водах.

На оз. Ньяса много бегемотов, крокодилов и водоплавающих птиц. Среди водоплавающих птиц многочисленны: орлан-крикун *Haliaeetus vocifer*, баклан хохлатый *Phalacrocorax lucidus*, основным рационом которых является озерная рыба. Среди рептилий – нильский крокодил *Crocodylus niloticus* и нильский варан *Varanus niloticus*.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне.**

Площадь водосбора оз. Ньяса составляет 100500 км<sup>2</sup>, здесь проживает более 10 млн. чел.,

при этом темпы прироста населения составляют около 3% в год. Основное занятие местных жителей – сельское хозяйство и рыбная ловля. Лишь около 14% населения проживает в городах. Сельское хозяйство обеспечивает около половины валового внутреннего продукта в Малави и Танзании и 35% в Мозамбик. На водосборе, на местные нужды, выращивают кукурузу, маниоку, кассаву, земляной орех. На низменных территориях культивируют рис, являющийся продуктом экспорта и редко входящий в рацион питания местных жителей. Также экспортируемыми культурами являются чай, кофе, сахар, хлопок и табак. В последние десятилетия в сельском хозяйстве начали использовать химические удобрения. Уровень жизни в прибрежных странах очень низкий. Вдоль значительной части побережья до настоящего времени продолжает иметь место бартерный обмен продукции рыболовства на продукцию сельского хозяйства (Nindi, 2007). Внутренний Валовой Продукт на душу населения составляет в Малави 900\$, а в Танзании – 1400 \$. Долгое время самой бедной страной на побережье являлась Мозамбик. Однако после прекращения многолетних войн ее ВВП существенно вырос до 900\$ в 2009 г. Бедность охватывает около 60% населения, около трети населения не может обеспечить необходимую калорийность своего питания. Главная причина бедности – низкая сельскохозяйственная продуктивность, а ее результат – нехватка дохода для улучшения своих хозяйств необходимой техникой, которая бы смогла хоть как-то увеличить продуктивность.

На оз. Ньяса развиты судоходство, рыболовство, туризм. На вытекающей из озера р. Шири построены гидроэлектростанции, обеспечивающие электроэнергией практически всю территорию Малави. Значительные колебания уровня озера делают гидростанции ненадежным поставщиком энергоресурсов. В 1997 г., когда уровни воды в озере снизились до значений, близких к бессточным годам первой трети XX в., подача электричества была строго нормирована. В настоящее время рассматриваются планы строительства гидроэлектростанции на р. Мотамбо (Мозамбик) с последующей передачей электроэнергии в р-он Тете (Малави).

В условиях повальной бедности управление водными ресурсами региона практически не производится, и никакой координации между водопользователями нет. Отсутствие должного управления даже на внутригосударственном

уровне – основная проблема водного хозяйства и фактор, отрицающий возможность принятия адекватных экологических решений в ближайшем будущем.

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью.**

Активная антропогенная деятельность в бассейне оз. Ньяса, в том числе наличие больших городов в непосредственной близости от берега и использование химических удобрений, приводит к усилению загрязнения водной среды. Согласно Bulirani et al. (2001) в озере обнаруживается, хоть и в небольших количествах, присутствие органохлоринов, линдана и диэдрина. В поверхностных водах их концентрации были в небольших количествах и составляли  $165-854 \cdot 10^{-6}$  мкг/л, а в глубинных  $100-187 \cdot 10^{-6}$  мкг/л. Однако наблюдается тенденция к постепенному росту концентраций. Согласно экспертизе канадского бюро по химической безопасности (Canadian Bureau of Chemical Safety's), в телах рыб пестициды пока обнаруживаются в безопасных количествах (Bulirani et al. 2001), хоть содержание ртути в некоторых больших особях мпаса (*Opsaridium microlepis*) и нчени (*Rhamphochromis* spp.) находится на границе нормы.

Важнейшей проблемой для оз. Ньяса является увеличившаяся в последние десятилетия седиментация, связанная со сведением лесов на значительных площадях, в том числе в гористой местности. Согласно данным Calder et al. (1995) покрытие лесом сократилось на водосборе с 64 % в 1967 г до 51% в 1991 г. Особо сильно эрозия затрагивает горные регионы. Значительная деградация почв наблюдается в горах Ливингстона и Матенго (Nindi, 2007). Слабая сельскохозяйственная практика приводит к очень высоким нормам смыва, нарушающим прибрежные биотопы, и негативно сказывающимся на видовом многообразии. В прибрежной зоне происходит быстрое осадконакопление, повышение мутности воды и увеличение концентрации биогенных веществ.

Данных наблюдений по биогенному притоку в оз. Ньяса недостаточно для того, чтобы делать выводы о существующих тенденциях изменения продуктивности. Какие-либо измерения начали проводить лишь в 90-е гг. XX в. Однако косвенные данные, прежде всего изучение состава донных отложений, свидетельствуют, что биогенный приток в южную часть озера устойчиво повышался в течение второй половины

XX в. (Hecky et al., 1999). Для северной части озера эта тенденция не очевидна. Кроме того, в южной части озера произошли некоторые структурные изменения планктонного сообщества в сторону увеличения количества видов, характерных для более продуктивных водоемов (Hecky et al., 1999). Ряд авторов (Andreae 1993) свидетельствует об увеличении атмосферного поступления биогенных веществ, связанного с чрезмерным сжиганием древесины.

Одной из важнейших проблем является снижение рыбных запасов озера, прежде всего наиболее ценных сортов, связанное как с экологическими изменениями в озере, так и с чрезмерным выловом. В 1980-е гг., когда площади, занятые под сельское хозяйство, начали активно расширяться, а агрономическая практика стала включать использование химикатов, местные жители начали отмечать небывалые ранее по своему масштабу случаи гибели рыбы, как в реках, так и в прибрежной зоне (Nindi 2007). На снижение уловов, особенно в южной части озера, указывают Tweddle & Magasa (1989), Donda & Bell (1993), Turner et al. (1995), Banda et al. (1996). Сильное заиление устьевых участков рек негативно сказывается на тех видах рыб, которые заходят в реки в период размножения, как *Opsaridium microlepis* (мпаса) и *O. microcephalus* (саньика). В последние десятилетия резко сократилась популяция *Labeo mesops* (нчила), которая в середине XX в. являлась вторым видом в уловах. Нчила предпочитает песчаные берега и тоже заходит в реки на нерест. Turner (2004) и Snoeks (2004) объясняют сокращение популяции нчила деградацией речных и прибрежных систем. Кроме заиления снижение рыбных запасов связывают с токсичными водорослями, появляющимися в озере, как пример указывается массовая гибель рыбы вдоль западного побережья в 1999 г (Nindi 2007). Увеличение мутности в прибрежных районах негативно отражается на популяции цихлид (Duponchelle et al., 2000), предпочитающих береговые экотопы. Еще одной опасностью для оз. Ньяса является изменение климата, которое при росте температур может изменить характер гидродинамических процессов и привести к снижению рыбной продуктивности. Необходимо подчеркнуть, что рыболовство, особенно в береговой зоне, является основным источником существования местных жителей, и уменьшение рыбных запасов крайне негативно отразится на их жизни.



Кроме сокращения рыбного населения, из-за изменения сред обитания на озере уменьшилось и количество крокодилов, и гиппопотамов. Большинство этих животных мигрировали к мозамбикскому берегу, где антропогенное воздействие сказывается наименее сильно, и экологическое состояние рек наиболее благоприятное.

Сведение лесов и расширение сельскохозяйственных земель сказывается не только на увеличении эрозии и биогенного притока, но, по мнению ряда исследователей (Calder et al., 1995) приводит к изменению норм стока. Продуктивное испарение снижается, и сток увеличивается, что отчасти может объяснять тренд роста уровня оз. Ньяса в последние десятилетия. Однако детальных воднобалансных измерений на озере не проводилось, поэтому точных выводов авторы не дают.

Проблемой, возникшей на озере в последние десятилетия, является огромное количество улиток. Из-за чрезмерного вылова питающихся улитками цихлид их количество резко увеличилось, особенно в юго-восточной части озера. Улитки приносят неудобства купающимся и сдерживают развитие туризма.

В последние десятилетия оз. Ньяса начинает испытывать на себе неудобства, связанные с вселением водного гиацинта (*Eichornia crassipes*), впервые появившегося в регионе в 1960-е гг. В настоящее время распространение гиацинта происходит преимущественно по рекам. На р. Шири разросшиеся заросли гиацинта становятся помехой для гидроэнергетики. В этой связи правительство Малави с 1995 г. начало биологическую программу по вселению в реки долгоносика *Neochetina* spp., сократившую, но не уничтожившую его скопления (Phiri et al. 2001). Из-за невысоких концентраций биогенных веществ в поверхностных водах оз. Ньяса, растения, попав в озеро, быстро отмирают. Но, хоть на сегодняшний день водный гиацинт пока не представляет на оз. Ньяса острой проблемы, как на оз. Виктория, потенциальная опасность его распространения присутствует (Nindi 2007).

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера.**

Поскольку оз. Ньяса играет огромнейшую роль в жизни населяющих его народов, сохранение качества его воды, рыбных запасов и биологической вариативности представляет собой важнейшую, актуальную задачу. К сожалению,

ее решение значительно усложняется отсутствием должной информации по озеру. В каждой из трех прибрежных стран на сегодняшний день реально существуют лишь учреждения, ответственные за рыбную ловлю. Их основные исследования проводятся в области оценки рыбных ресурсов, и большинство рекомендаций касаются организации рыбной ловли на озере. Несмотря на то, что некоторые институты, ответственные за исследования рыбного населения, организовали работы и в области гидрохимии и изучения планктона, внимание этим работам уделяется крайне слабое. Даже по вопросам рыбной ловли решения принимаются крайне медленно, прежде всего, из-за слабой согласованности между странами, расположенными по берегам озера. Управления экологической политикой создаются, однако, пока лишь на начальном уровне. Значительную помощь в этой области пытаются оказывать развитые страны. Так Германия финансировала Национальную Программу по водным ресурсам, осуществляемую через отдел рыбной ловли Малави (NARMAP), окончившуюся в 2003 г. Национальный Экологический Совет Управления Танзании (NEMC) предложил Национальную Стратегию Сохранения и Жизнеспособного Развития (NCSDD) страны. Эта стратегия включает Экологический План Действия, имеющий приоритеты в области природных ресурсов. Экологическое законодательство для поддержания плана завершено к середине 2000-х гг. В 2003 г. развитие Национальной Программы Экологического Управления (NEMP) завершилось в Мозамбик. Программа определила экологическую политику страны, установила ее правовые рамки и определила структуры для осуществления выработанной политики и ее проведения в жизнь. Таким образом, на настоящий момент первоочередной задачей является скоординировать выработанные стратегии, при этом участие стран в рыбной ловле не равно, а значит и интерес к проблемам озера различен. Значительную помощь в координации усилий прибрежных стран по управлению озером и его ресурсами пытается оказывать ФАО.

Для охраны биологической вариативности на территории оз. Ньяса и на его водосборе создаются Национальные парки. Южная часть озера входит в состав Национального Парка «Озеро Малави», являющегося частью Природного Мирового Наследия. Парк основан в 1975 г. и имеет площадь 9400 га. Территория парка

включает как наземные, так и водные области. Традиционные рыбацкие методы, нацеленные на ловлю мигрирующей рыбы, разрешаются здесь в ограниченных количествах. На большей части парка проживающие в озере рыбы полностью защищены.

## 1.6. ОЗЕРО АЛЬБЕРТ (МОБУТУ-СЕСЕ-СЕКО)

Озера Альберт и Эдуард относятся к наименее крупным среди Великих Африканских Озер, и являются частью системы водоемов в Верховьях Нила. Озера занимают единую сбросовую впадину в пределах Западного рифта.

Озеро Альберт (Мобуту-Сесе-Секо) – седьмое по площади озеро африканского континента и пятое среди Великих Африканских озер. Это самое северное из цепи озер Восточно-Африканской линии разломов (рис. 1.27). Его координаты: 1°00'-2°20'с.ш.; 30°20'-31°30'в.д., урез воды находится на высоте 615 м над уровнем моря. Уганда и Демократическая Республика Конго (Заир) расположены по берегам озера и контролируют 54% и 46% акватории озера, соответственно.

Оз. Альберт - озеро тектонического происхождения, занимающее сбросовую впадину, являющуюся северным отрезком Западного рифта. Оно имеет ромбовидную форму, расстояние между его крайними северной и южной точками составляет 145 км,

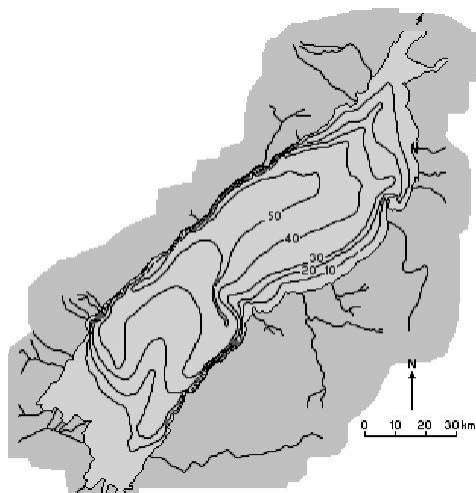


Рис. 1.27. Озеро Альберт. Источник: LBRI&ILEC. 1989

ширина – 35-46 км, площадь водной поверхности – 5300 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 25 м, максимальная – 58 м, (Rugumayo, 2010)

объем заключенной воды – 133 км<sup>3</sup>. Грабен, в котором расположено озеро, является одним из самых древних участков Западного рифта, образованным в середине третичного периода около 20 млн. лет назад. Тогда же возник и прообраз современного озера. На ранних этапах развития грабен был менее глубоким, а заполнявший его водоем - более мелководным, но значительно более обширным по площади, чем сейчас. Последующие тектонические движения подняли края грабена и углубили озерную котловину, вследствие чего водоем сократился в размерах. Западный борт рифта поднимается над уровнем озера на 1300-1800 м, восточный – на 600-800 м. Краевые поднятия спускаются к днищу грабена рядом уступов, образованных параллельными ступенчатыми сбросами. Уступы, в большинстве своем, несут следы обширной эрозии: изрезаны многочисленными глубокими оврагами и ущельями, поросшими густыми лесами. Сами каменистые склоны покрыты лишь редкими пучками грубых жестколистных злаков. Дно сбросовой впадины довольно ровное и плоское, озерные воды разливаются по нему небольшим слоем, так что озеро является самым мелководным среди крупных озер Западного рифта. Береговая линия слабо расчленена, очертания берегов почти строго прямолинейные, определенные простиранием разломов. Сбросы поднимаются из воды в виде высоких отвесных уступов. Периодически между озером и уступами протягивается узкая полоса плоской равнины, покрытой травянистой саванной с отдельными деревьями и кустарниками. У подножия краевых уступов грабена местами пробиваются ключи с высоко минерализованной водой (Дмитриевский, Ю.Д., Олейников, И.Н., 1979).

С северной стороны в оз. Альберт впадает р. Виктория-Нил, несущая свои воды из озер Виктория и Кьога. Этот приток обязан своим появлением геологическим особенностям территории, а точнее приподнятости бассейна оз. Виктории, произошедшей в позднем плейстоцене. Река проходит через предыдущую речную долину в направлении нижней точки стены рифта. В непосредственной близости с местом впадения р. Виктория-Нил, в 15 км севернее, берет свое начало р. Альберт Нил, вытекающая из озера. Воды р. Виктория-Нил значительно менее соленые, чем оз. Альберт. Другим крупным притоком, поступающим в оз. Альберт с юго-западной стороны, является р. Семлики,

вытекающая из оз. Эдуард и пополняющаяся по курсу за счет притоков, стекающих со склонов Рувензори. На своем пути через лес река на протяжении нескольких километров порожиста, что является существенным барьером для обмена фауны между озерами. Затем уклон снижается, и при впадении р. Семилики в оз. Альберт располагается обширное болото.

### ***История заселения озер Альберт и Эдуард и их роль в жизни окружающих народов***

Озера Альберт и Эдуард относятся к наименее крупным среди Великих Африканских Озер, и являются частью системы водоемов в Верхоях Нила. Озера занимают единую сбросовую впадину в пределах Западного рифта. Изначально берега оз. Альберт и оз. Эдуард населяли пигмеи и койсанские племена, занимавшиеся охотой и собирательством. В первых веках н. э. в близлежащих регионах стали селиться племена банту. С XI века с севера пришли нилотские племена, а с северо-востока — кушиты. В силу исторических особенностей национальный состав жителей, обитающих по берегам озер Альберт и Эдуард крайне разнороден.

Первым европейцем, вышедшим к берегам озера Альберт в 1864 г. был Бейкер, который назвал его в честь Альберта Саксен-Кобург-Готского, мужа королевы Виктории, скончавшегося незадолго до открытия озера. Первым европейским исследователем, достигшим берегов оз. Эдуард, был Герман Мортон Стенли. Увидев озеро впервые в 1875 г. он решил, что перед ним находится южная часть оз. Альберт, и лишь во время своего второго посещения понял, что это два независимых водоема. Стенли назвал озеро в честь принца Альберта Эдуарда Уэльского – оз. Эдуард.

С конца XIX в. начинается колониальный период развития народов, населяющих побережья оз. Альберт и Эдуард. Территория Уганды становится английской колонией, территория Конго попадает под юрисдикцию Бельгии. В 1960-е гг. терпит крах колониальный режим, в июне 1960 г. была объявлена независимость Конго, в марте 1962 г. - Уганды. Период после объявления независимости характеризуется большим количеством межэтнических конфликтов и гражданскими войнами. В 1978-79 гг. происходила война между Угандой и соседней Танзанией, с конца 1980-х гг. по 2008 г. длилась гражданская война в Уганде. В 1996-97 гг. и 1998-2003 гг. происходили конго-

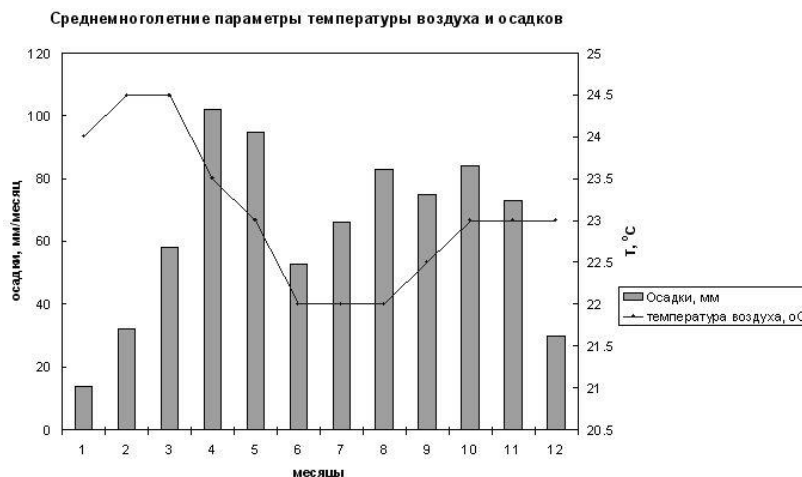
лезские войны, в которые были втянуты как Демократическая Республика Конго, так и Уганда. И в начале XXI в. политическая обстановка в регионе остается нестабильной.

Озера Альберт и Эдуард играют важнейшую роль в жизни людей, обитающих по их берегам, и служат для них источником воды и пропитания. Кроме того, на озере Альберт развито судоходство, обеспечивающее как пассажирские, так и транспортные перевозки. Наряду с озерами Виктория и Кьога, оз. Альберт и Эдуард поддерживают рыболовную промышленность Уганды, совместно внося в нее около 25% от общего улова по стране. Рыбная ловля является основным источником протеина для местных жителей, а также одним из важных секторов экономики Уганды, приносящим валютную прибыль. С конца XX в. рыбная ловля активно развивается и в ДРК. Объем уловов по конголезской части оз. Альберт приблизился к его угандийской части, а на оз. Эдуард существенно ее превзошел. В начале XXI века в глубинных пластах оз. Альберт были обнаружены месторождения нефти. В ближайшее время начнется их разработка, что должно существенно поднять экономику стран региона, прежде всего Уганды, вдоль побережья которой находятся основные месторождения. Большие надежды возлагаются на обнаружение нефтяных месторождений и в бассейне оз. Эдуард.

### ***Температурная стратификация. Водный баланс. Уровенный режим***

Среднегодовыми параметрами климата в бассейне озер Альберт и Эдуард приведены на рис. 1.28. Оз. Альберт характеризуется как полимиктическое. Вода, ввиду мелководности озера, часто перемешивается до самого дна, главным образом под воздействием ветра и волнения. Температурная стратификация согласно Talling (1963), может развиваться, однако выражена достаточно слабо и удерживается недолго. В течение года температура воды изменяется в пределах 26.5-30°C.

Оз. Альберт получает много притоков, большинство из которых несет воду лишь в сезон дождей. Из постоянных рек в него впадают р. Виктория-Нил и р. Семлики, образующие обширные дельты. Большая часть бокового склонового притока носит сезонный характер и вносит небольшой вклад в общую величину прихода воды. Среди наиболее крупных рек – Му-



**Рис. 1.28.** Среднегодовое параметры климата по данным ИЛЕС.

зизи, Нкусси, Вамбабя, Уоки I и II. В водном - балансе озера доминирующую роль играют приток, 91% его приходной части, и отток, 81% его расходной части. С притоками в озеро поступает в среднем  $37.4 \text{ км}^3$  воды в год, с осадками –  $3.8 \text{ км}^3$ . Сток по р. Альберт-Нил составляет  $33.7 \text{ км}^3$ ; испаряется с поверхности озера –  $8.3 \text{ км}^3$ , а запасы за период 1950-2000 гг. оцениваются в  $-0.8 \text{ км}^3$ . (Rugumayo et al., 2010). Уровень воды оз. Альберт подвержен большим сезонным и многолетним изменениям, согласно оценкам Rugumayo et al. (2010) его амплитуда за 100 лет составляет около 14 м. Колебания уровня связаны с водностью питающих озеро рек, и, прежде всего, со стоком по р. Виктория-Нил, обеспечивающей около 80% притока. Согласно Rugumayo et al. (2010), максимальный приток в озеро за период наблюдений отмечался в 1964 г. и составил  $283 \text{ км}^3$ , отток в этот год также был максимальным ( $95.5 \text{ км}^3$ ). Минимальный приток наблюдался в 1974 г ( $31.5 \text{ км}^3$ ), а минимальный отток – в 1954 г. ( $13 \text{ км}^3$ ).

В годы повышенной водности уровень озера резко возрастает, и происходит подтопление прибрежной зоны. Существенный ущерб местной экономике был нанесен в результате повышения уровня оз. Альберт, начавшегося в 1961-62 гг., и связанного с окончанием гидроэнергетического строительства на р. Виктория-Нил и совпадающего с повышениями уровня на оз. Виктория. В эти годы на оз. Альберт был разрушен островной порт Бутиаба, а местные жители, проживающие в залитой озерными водами долине, были вынуждены оставить ее и мигрировать на более возвышенные земли (Rugumayo et al., 2010).

### **Основные характеристики качества вод**

Оз. Альберт отличается солоноватой водой, электропроводность которой составляет  $675-730 \text{ мкS/см}$ . Приток солей происходит за счет разгружающихся близ озера термальных источников. Ионный состав воды, согласно Talling (1963), в значительной степени определяется озером Эдуард, связанным с оз. Альберт по р. Семилики, тогда как влияние вод р. Виктория-Нил снижается, из-за того, что ее устье находится в непосредственной близости с истоком р. Альберт-Нил. В оз. Альберт среди анионов преобладают карбонаты и гидрокарбонаты, а среди катионов - натрий и калий:  $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ ;  $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$  (Greboval et al, 1994). Реакция среды щелочная, pH - 8.7-9.0. Мутность чаще всего повышенная. В связи с частым перемешиванием вода озера в естественном состоянии по большей части своего объема была обогащена растворенным кислородом. У поверхности содержание кислорода составляло 6-7 мг/л. Истощение кислорода наблюдалось лишь на больших глубинах, обычно в северной части водоема (Talling, 1963). В последние десятилетия концентрация кислорода в воде существенно снизилась, и значительная часть водоема теперь часто испытывает гипоксию.

Особенностью оз. Альберт являются более высокие концентрации фосфора в воде по сравнению с азотом. На уровень середины 1960-х гг. содержание общего фосфора составляло 135-180 мкг/л, а  $\text{NO}_3 - \text{N}$  - 6-90 мкг/л (Talling & Talling, 1965). Согласно более поздним оценкам (Ochieng et al., 2009), концентрации фосфора в водах заливов и лагун составляли  $242 \pm 32$



мкг/л, а в открытых водах -  $83 \pm 5$  мкг/л. Эти цифры свидетельствуют о высоко эвтрофном состоянии открытой части водоема и гипер-трофном - прибрежной зоны.

#### **Основные биологические особенности. Ихтиофауна, рыбная ловля.**

В фитопланктоне оз. Альберт доминируют: сине-зеленые водоросли: *Anabaena flos-aquae*, *Anabaenopsis tanganyikae*, *Lyngbya limnetica* и диатомовые: *Stephanodiscus astraea*, *Nitzschia bacata*, *Melosira nyassensis*, присутствуют динофлагелляты (*Gymnodinium* sp.) (Talling, 1963, LBRI&ILEC, 1989). По мере эвтрофирования водоема доля сине-зеленых увеличивается, тогда как в середине XX века преобладали диатомовые (Talling, 1963). Согласно Lehman et al. (1998), концентрация хлорофилла-а весной 1961 г. оценивалась в 6.4 мкг/л, что почти в три раза выше, чем весной 1995 г (2.2 мкг/л). Lehman объясняет снижение концентрации хлорофилла-а ослаблением проникновения света, вызываемым обилием фитопланктона. В зоопланктоне доминируют веслоногие ракообразные отряда циклопоиды: *Mesocyclops aequatorialis*, *M. ogunnus*, *Thermocyclops neglectus*, *Thermodyaptomus galebi* составляющие около 90% биомассы (Lehman et al. 1998). Многочисленны ветвистоусые рачки: *Daphnia lumholtzi*, *Ceriodaphnia cornuta*, *C. dubia*, *Moina micrura*, *Diaphanosoma excisum*, личинки насекомых: *Chaoborus* spp. (перистоусый комарик) и десятиногие ракообразные: *Caridina nilotica*. По данным Verbeke (1957), общая биомасса зоопланктона в середине XX в. изменялась в течение года от 1.8 до 18 см<sup>3</sup> /0.15м<sup>2</sup>. По данным Lehman et al. (1998), на уровень 1995 г. биомасса зоопланктона составляла 1-3 гр С/м<sup>2</sup>, а фитопланктона 5-8 гр С/м<sup>2</sup>.

Озеро Альберт богато рыбными ресурсами; здесь насчитывается 46 видов рыб, в большинстве своем типичных для всего Нильского бассейна. Наиболее распространены: нильский окунь (*Lates niloticus*), алестиды *Alestes baremose*, *Hydrocynus forskalli*, цихлиды *Tilapia* spp., цитхаринид (*Citharinus citharus*), дистиходонид (*Distichodus niloticus*), представители семейств клариевых (*Clarias lazera*), мормировых (*Mormyrus kanume*), карповых (*Barbus* spp.),

представитель отряда многоперообразных - багатопер (*Polypterus* sp.) (LBRI&ILEC, 1989). Оз. Альберт является родным для нильского окуня (*Lates niloticus*) и Нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*), вселенных в середине XX века в другие Великие Африканские озера (Виктория, Ньяса).

Согласно оценкам Greboval et al. (1994) озеро Альберт может давать без ущерба для своего биологического потенциала 25-34 тыс. метр. тонн рыбы. Рыболовство является важнейшей отраслью местной экономики, и обеспечивает жителей протеином. Уловы рыбы в оз. Альберт резко возрасли с начала 1950-х гг., после введения коммерческого рыболовства. В середине 1960-х они превышали 20 тыс. тонн/год, а в середине 1970-х поднялись к 30 тыс. тонн (рис. 1.29). В начале 1980-х гг. рыбные уловы на озере существенно снизились, что явилось результатом гражданской войны в Уганде и национализации рыбной ловли в Заире (ДР Конго). Затем, к началу 1990-х гг., уловы опять стали увеличиваться. До начала XXI в. около 75-80% рыбных уловов составляли нильский окунь и представители семейства алестид – ангара (*Alestes baremose*), нгасса (*Hydrocynus forskalli*), в небольшой степени рагоге (*Brycinus nurse*). Среди других коммерческих видов были представители семейства цихлид – тилапия (*Tilapia* spp.) и косатковых сомов - багрус (*Bagrus bayad*).

С начала 1990-х гг. на озере наблюдается истощение рыбных запасов, связанное, прежде всего, с использованием неразрешенных механизмов лова. Недопустимые методы лова приводят к снижению общего производства и уменьшению видового разнообразия, помимо истощения рыбных запасов происходит разрушение нерестилищ (Westerkamp, Houdret, 2010). В середине 1990-х гг. из-за истощения рыбных запасов начался поиск альтернативных видов для лова, в результате чего резко повысилась доля рагоге. Уже к середине 2000-х гг. он стал доминировать в уловах (Bwaku W. S., 2009). Рагоге хорошо приспособливается к загрязненным, эвтрофированным водам, обитает преимущественно у побережья и удобен для промысла.

Уловы рыбы на оз. Альберт по странам

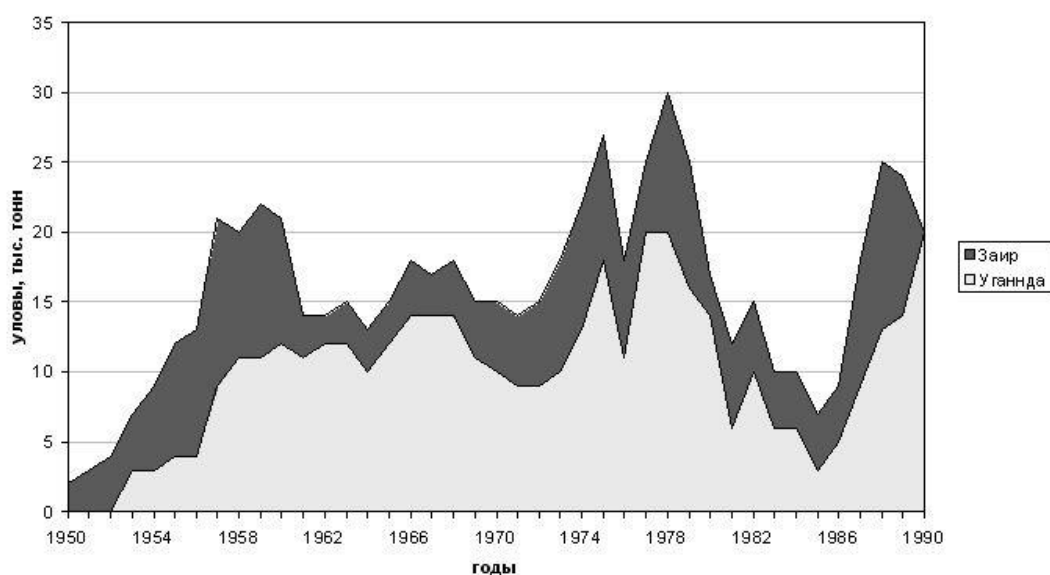


Рис. 1.29. Уловы рыбы на оз. Альберт по данным Greboval et al. (1994)

**Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне. Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью.**

Площадь водосбор оз. Альберт составляет 18223 км<sup>2</sup>, здесь проживает около 2 млн. человек. С конголезской стороны к озеру примыкает провинция Итури, с Угандийской – области Небби, Амуру, Булиса, Хоима, Кибале и Бундибуго. Основное занятие местного населения сельское хозяйство и рыбная ловля. Уровень жизни очень низок. Внутренний Валовой Продукт на одного жителя составляет в Уганде около 400 и в ДРК около 300 долларов США. Только 3% жителей угандийского побережья на сегодняшний день имеют доступ к электричеству (Westerkamp, Houdret, 2010). Темпы прироста населения достаточно высоки, что при подавляющей бедности создает ряд серьезных экологических проблем, связанных как с постоянно повышающимися потребностями в продукции рыболовства, приводящими к чрезмерному вылову и снижению рыбных запасов, так и с дополнительной биогенной нагрузкой на водоем.

В связи с хозяйственной активностью на водосборе происходит антропогенное эвтрофирование водоема. По историческим данным на начало 1960-х годов прозрачность воды оз. Альберт составляла около 5 м (Talling, 1963). В настоящее время в открытой части водоема она снизилась до 1.4-1.7 м, а в прибрежной зоне –

до 0.5 м (Ochieng et al., 2009). В последние десятилетия содержание биогенных веществ в воде настолько увеличилось, что озеро перешло в гипертрофное состояние. Поскольку при постоянно высоком содержании фосфора основным лимитирующим элементом на оз. Альберт является азот, рост его поступления приводит к бурным расцветам *Anabaena flos-aquae* и *Melosira nyassensis*. В последние годы расцветы проходят настолько часто, что значительная часть водоема практически постоянно испытывает гипоксию, приводящую к рыбным заморам и снижению рыбной продуктивности водоема. На озере периодически отмечается гибель нильского окуня. Кроме того, из-за гипертрофности страдает видовое разнообразие. Поскольку оз. Альберт используется в качестве источника водоснабжения, качество его воды является залогом здоровья местного населения. Высоко эвтрофные воды требуют дорогостоящих систем очистки и, в случае их отсутствия, являются причиной распространения инфекционных заболеваний, прежде всего желудочных.

Несмотря на крайне неблагоприятные изменения, произошедшие в водоеме в связи с ростом концентрации биогенных веществ, содержание тяжелых металлов в воде оз. Альберт остается достаточно низким и находится пока на безопасном уровне. Лишь в донных осадках заливов и лагун наблюдается повышенное содержание цинка (Ochieng et al.,



2009). Однако опасность токсического загрязнения в настоящее время весьма реальна.

Дополнительной опасностью для экосистемы оз. Альберт может служить открытие нефтяных запасов в глубинных пластах его Угандийского побережья и в озерных отложениях. Уже на сегодняшний день, на стадии разведки запасов, поступают жалобы от рыбаков на ухудшения качества воды и изменения в поведении рыбы (Westerkamp, Houdret, 2010). Кроме экологических неприятностей, которые всегда сопровождают разработку нефтяных месторождений, остается реальность возобновления военных конфликтов между ДРК и Угандой, имевших место в недавнем прошлом. На сегодняшний день разработка месторождений вынудила правительства обеих стран вступить на путь переговоров, однако возможность ухудшения отношений продолжает оставаться реальной, особенно в обстановке неурегулированности международных границ. Если отношения между президентами двух стран характеризуются прагматизмом и допускают сотрудничество в интересах обеих стран, то на местном уровне отношения между угандийцами и конголезцами крайне сложные (Westerkamp, Houdret, 2010). Международные инциденты продолжают иметь место между странами.

#### ***Описание мер, предпринимаемых для улучшения экосистемы озера.***

Поскольку рыболовство является важнейшим источником протеина для местных жителей, а также одной из важных отраслей экономики Уганды, вопросы истощения рыбных запасов оз. Альберт являются важнейшими на сегодняшний день. С этой целью разрабатываются программы управления рыбными ресурсами. Однако процесс находится пока лишь на начальной стадии. Бедность местных жителей, отсутствие экономических альтернатив, высокая стоимость надлежащих рыбацких механизмов являются естественным фоном, тормозящим продвижение программ, направленных на охрану окружающей среды и управление рыбными ресурсами. На настоящий момент отсутствует понимание важности возникшей проблемы и существует постоянный конфликт интересов между более и менее обеспеченными рыбаками, а также между местными жителями и мигрантами (von Sarnowski, 2004). Проблемы еще более обостряются из-за отсутствия соответствующего законодательства. Если в долгосрочной перспективе продуманное, разумное

управление рыбными ресурсами позволит поддерживать занятость местного населения и хорошие уловы, то в ближайшей перспективе неизбежны конфликты, так как любые меры по сохранению и восстановлению рыбных запасов связаны с сокращениями сегодняшних доходов местных жителей.

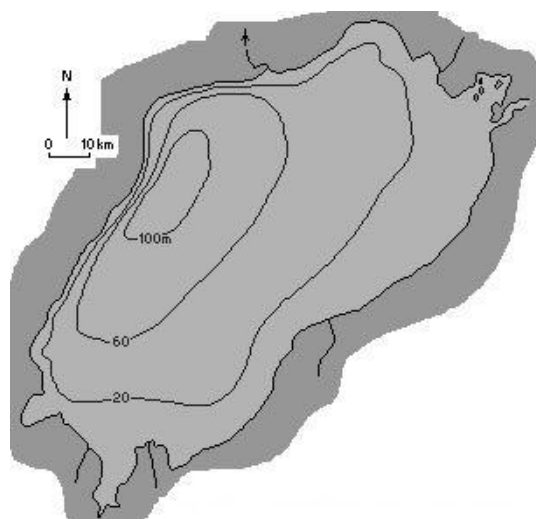
Кроме интереса к рыбным ресурсам, изучение экосистемы оз. Альберт стало актуальным после открытия нефтяных месторождений в регионе. В результате в рамках проекта Мирного Строительства (Peacebuilding) была организована группа по Региональному Сотрудничеству по вопросам Окружающей Среды, Экономики и Управления Природными Ресурсами (Regional Cooperation on Environment, Economy and Natural Resource Management). Основным направлением исследований являются окружающая среда, водные ресурсы и рыбная ловля, энергетика и нефтедобыча (Westerkamp, Houdret, 2010).

Значительная часть побережья оз. Альберт с Угандийской стороны является охраняемой территорией и входит в состав Национального парка. Богатство природы привлекает в парк ежегодно около 40000 туристов.

#### **1.7. ОЗЕРО ЭДУАРД (ЭДВАРД ИЛИ ИДИ-АМИН-ДАДА)**

Озеро Эдуард (Эдвард или Иди-Амин-Дада) является наименьшим и наименее изученным в лимнологическом отношении среди Великих Африканских Озер (рис. 1.30). Его координаты: 0°05'-0°43' ю.ш.; 29°18'-29°55' в.д. Демократическая Республика Конго (Заир) и Уганда расположены по берегам озера и контролируют 71% и 29% его акватории, соответственно. Урез воды находится на высоте 912 м над ур. моря.

Оз. Эдуард - озеро тектонического происхождения, занимающее сбросовую впадину в пределах Западного рифта, являющуюся непосредственным продолжением грабена оз. Альберт. Уровень его водного зеркала при этом находится на 300 м выше. Озеро имеет неправильную четырехугольную форму, вытянутую с юго-запада на северо-восток на 77 км,



**Рис. 1.30.** Озеро Эдуард. Источник: LBRI&ILEC. 1989

средняя ширина 30 км. Площадь его водной поверхности составляет 2325 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 17 м, максимальная – 112 м, объем заключенной воды – 39.5 км<sup>3</sup> (ИЛЕС). Дно Западного рифта в районе оз. Эдуард перекошено, наклонено с востока на запад, и озеро непосредственно примыкает только к высокому (более 2000 м) западному борту рифта. С востока его окружает широкая плоская равнина, отделяющая озеро от восточного борта рифта. Такие же равнины окаймляют озеро с севера и юга. Берега большей частью плоские, топкие, с неопределенными контурами, покрытые тростником, папирусом и другой болотной растительностью; крутым и высоким является только западный берег. Регион оз. Эдуард демонстрирует свидетельства относительно недавнего вулканизма, происходившего около 5000-12000 лет назад. Отличающиеся обилием кратеров и вулканических конусов, вулканические области Катве-Кикоронго и Буяругуру расположены в северо-западной оконечности озера, по обеим сторонам протоки Казинга, соединяющей оз. Эдуард с оз. Джордж.

Чаша оз. Эдуард возникла в начале четвертичного периода. Согласно предположениям (Дмитриевский, Ю.Д., Олейников, И.Н., 1979) на ранней стадии своего развития озеро образовывало единое водное пространство с оз. Альберт. В один из сухих периодов четвертичного времени единый водоем почти полностью пересох, тогда исчезла и древняя нильская фауна. В это время участок днища Западного рифта между озерами Альберт и Эдуард был поднят тектоническими движениями в виде горста. Котловины озер были разделены

скалистым барьером, воспрепятствовавшим гидрографической связи между ними. Долгое время оз. Эдуард существовало как бессточное, и в нем развивалась своя фауна, отличающаяся от Нильской, прежде всего благодаря более высокому уровню солености. Река Семилики сравнительно недавно в процессе эрозии “перепилила” скалистый барьер, разделяющий озера. Согласно другим гипотезам оз. Эдуард уже в более позднее время образовывало единый водоем с оз. Джордж, но, затем, было разделено лавовыми потоками в период активной вулканической деятельности.

#### **Температурная стратификация. Водный баланс**

Оз. Эдуард мономиктическое. Температура эпилимниона в течение всего года составляет около 26°C, а гиполимниона – около 24°C. Для мелководья характерно частое перемешивание. В глубинной части озера на протяжении большей части года хорошо выражена температурная стратификация. Термоклин залегает на глубине 40-60 м. Выравнивание температуры по всей водной массе происходит зимой.

Оз. Эдуард представляет собой один из водоемов в Верховьях Нила и, наряду с оз. Альберт и оз. Виктория, является источником Белого Нила. Основным его притоком является р. Ньямугасани, стекающая с юго-западной оконечности Рувензори, а также реки Ишаша, Рутшур, Руинди, стекающие с возвышенностей Кизеги и вулканического плато Вирунга на юге. На востоке оз. Эдуард соединяется протокой Касинга с гипертрофным оз. Джордж. Из озера, в его северо-западной оконечности, берет начало р. Семлики.

Палеолимнологические исследования свидетельствуют о значительных понижениях уровня воды оз. Эдуард, совпадающих с периодами засух на большей части региона Великих Африканских озер, и неоднократно наблюдавшихся в течение последних 5000 лет. Согласно Russell, et al. (2004), наибольшее падение уровня воды на озере происходило от 4050 до 3850 лет назад и составляло около 15 м по отношению к сегодняшнему уровню.

Среди Великих Африканских озер оз. Эдуард является наименее изученным в лимнологическом отношении. Приток с водосбора ежегодно привносит в озеро около 2.2 км<sup>3</sup> воды; осадки – 3.4 км<sup>3</sup> (Дмитриевский, Ю.Д., Олейников, И.Н., 1979). Согласно различным оценкам на

испарение приходится от 50 до 65% расходной части водного баланса, по наиболее новым данным - 54% (Russell, et al., 2006); сток по р. Семлики оценивается около 2 км<sup>3</sup>.

### **Основные характеристики качества вод**

Оз. Эдуард является наиболее минерализованным озером Нильского бассейна, электропроводность его воды составляет 878-1130 мкС/см. Среди анионов преобладают карбонаты и гидрокарбонаты, а среди катионов - натрий и калий:  $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ ;  $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$  (Greboval et al, 1994). Реакция среды щелочная, pH - 8.8-9.1. Прозрачность воды оценивается в 1.8-3 м. Кислород присутствует лишь в эпилимнионе, его содержание у поверхности составляет около 8 мг/л, затем его концентрация плавно снижается до глубины 40 м (Beadle, 1966). Слои воды, расположенные на глубине более 50 м, лишены кислорода на протяжении всего года, и характеризуются высоким содержанием сероводорода.

### **Основные биологические особенности. Ихтиофауна, рыбная ловля.**

Для оз. Эдуард характерно обилие фитопланктона, главным образом сине-зеленых водорослей, составляющих более 80% биомассы (*Microcystis* spp., *Lyngbia limnetica*, *Merismopedia tenuissima*, *Spirulina* sp.), распространены диатомовые (*Melosira*, *Synedra acus*), хлорофитовые, немного децимидиациесовых. Согласно Lehman et al. (1998), концентрация хлорофилла-а в поверхностных водах оценивается в 6.5-8.8 мкг/л. В зоопланктоне преобладают веслоногие ракообразные отряда циклопоиды, представленные видами: *Mesocyclops leuckarti*, *M. aequatorialis*, *Thermocyclops infrequens*, *T. oblongatus*, *T. consimilis*, *Thermodyaptomus galebi* (Lehman et al. 1998). Многочисленны ветвистоусые рачки: *Ceriodaphnia rigaudi*, *C. cornuta*, *C. dubia*, *Moina micrura*, *Diaphanosoma excisum*, *D. Mongolianum*, *Daphnia longispina*, *D. lumholtzi*, коловратки: *Brachionus falcatus*, *B. calyciflorus*, *B. caudatus*, *B. angularis*, *Keratella tropica*. Встречаются, хоть и в небольшом количестве, веслоногие ракообразные отряда каланоиды семейства диаптомид и личинки насекомых: *Chaoborus* spp. (Damas, 1964, Lehman et al. 1998). По данным Lehman et al. (1998), на уровень 1995 г. биомасса зоопланктона составляла 1-2.5 гр С/м<sup>2</sup>, а фитопланктона 2-13 гр С/м<sup>2</sup>.

В озере водится около 50 видов рыб, из которых 18 эндемиков. Наиболее распространены представители семейств косатковых сомов - багр (*Bagrus docmac*), клариевых - *Clarias* spp., кипририд - *Barbus* и цихлид - *Sarothelodon niloticus*, *S. leucosticus*, *Haplochromis* spp., *Hemihaplochromis multicolor*, *Oreochromis* sp.. Кроме того, на оз. обитает много гиппопотамов. В последнее время восстанавливается популяция нильского крокодила, отсутствовавшего в озере в течение 8000 лет.

На озере активно развито рыболовство. Основными промысловыми видами являются тилапия (*Oreochromis*), багр (*Bagrus*), барбус (*Barbus*), кларис (*Clarias*), протоптерус (*Protopterus*). По оценкам Greboval et al (1994) потенциальные уловы составляют 15000-20000 тонн для конголезской части озера и 13000-16000 тонн - для угандийской. Реальные уловы с 1960 по 1990 гг. изменялись в пределах 6000-14000 тонн (рис. 1.31). Доля тилапии в уловах на уровень 1960-х – начала 1970-х гг. составляла около 70%, что приводило к ее перелову, преимущественно в конголезской части озера. С конца 1970-х гг. повышается доля багра с 15 до 45%. В связи с нестабильными отношениями между Угандой и ДРК периодически возникают конфликты, связанные с отловом рыбы в чужих территориальных водах.

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне. Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Площадь водосбора оз. Эдуард составляет 12096 км<sup>2</sup>. Его восточная и северо-восточная части заняты Национальным парком Королевы Елизаветы и Рувензорским Национальным Парком, западная часть озера, включая исток р. Семлики, относится к Национальному Парку Вирунга (Конго). Благодаря обширности территорий, относящихся к национальным паркам, его берега слабо населены, здесь расположены лишь небольшие поселения Ишанго, Витсумби (ДРК) и Мвера, Катве (Уганда). В результате оз. Эдуард считается наименее пострадавшим в результате антропогенной деятельности водоемом среди Великих Африканских озер Нильского бассейна. В пределах его водосбора проживает около миллиона человек, использующих озеро преимущественно для питьевого водоснабжения и лова рыбы. В регионе активное развитие имеет туризм.

Уловы рыбы на оз. Эдуард по странам

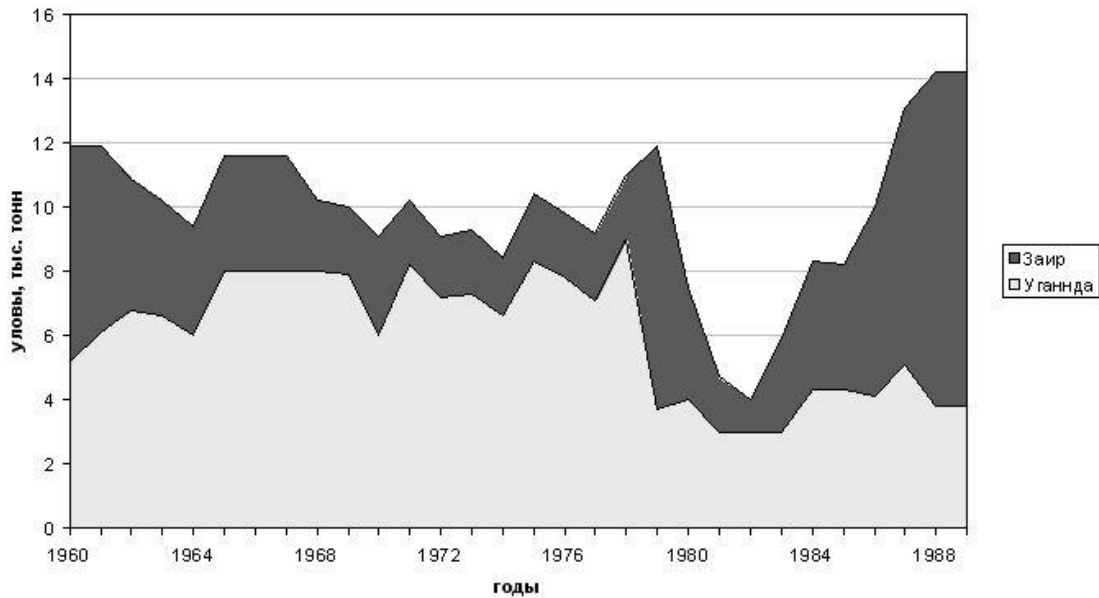


Рис. 1.31. Уловы рыбы на оз. Эдуард по данным Greboval et al. (1994)

После обнаружения месторождений нефти в бассейне оз. Альберт, существуют большие надежды на счет их обнаружения и в бассейне оз. Эдуард, расположенного с оз. Альберт в пределах единой рифтовой системы и имеющем схожую геологию. В ближайшей перспективе теми же компаниями, которые в настоящий момент начинают разработку месторождений в глубинных пластах Угандийского побережья оз. Альберт, вблизи озера может быть произведено бурение.

### 1.8. ОЗЕРО КИВУ

Озеро Киву - шестое среди Великих Африканских озер, занимающее наиболее приподнятый участок дна западного рифта. Его координаты: 1°38'-2°25'ю.ш.; 28°51'-29°22'в.д. Водное зеркало располагается на высоте 1463 м над уровнем моря, выше всех остальных Великих Озер Восточной Африки. Заир и Руанда расположены по берегам озера и контролируют 58% и 42% его акватории, соответственно (рис. 1.32). Длина озера с севера на юг составляет около 100 км, наибольшая ширина – 45 км, площадь водной поверхности – 2370 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 240 м, максимальная – 489 м, объем заключенной воды – 560 км<sup>3</sup>. Местность вокруг озера гористая; на западе вздымается западный борт рифта, достигающий высот 2500–3000 м, на севере простирается молодая вулканическая цепь Вирунга, на юге озеро

отделяется от впадины оз. Танганьика обширным базальтовым плато, рассеченным глубоким каньоном р. Рузизи, соединяющей оз. Киву и оз. Танганьика. На оз. Киву расположен один из наиболее крупных островов, расположенных в пресных водах, – о-в Иджви.



Рис. 1.32. Озеро Киву. Фото NASA.

Оз. Киву - самое молодое из всех Великих Африканских Озер. Анализ донных отложений (Haberyan and Necky, 1987) свидетельствует о двух стадиях образования озера: мелководной, происходившей 1-5 млн. лет назад, и глубоководной стадии, около 10000 – 50000 лет назад. Переход между этими стадиями отмечают лавовые потоки вулканов плато Вирунга, которые около 12000 лет назад закупорили

прежний отток из озера в направлении р. Нил.

В отличие от остальных озер Западного рифта оз. Киву обладает очень извилистой береговой линией. Вдоль всего северного берега хорошо видны спускающиеся в воду потоки застывшей лавы разного возраста и облика. Подводные склоны озерной котловины очень круты, так что зона прибрежного мелководья почти отсутствует. Рельеф дна чрезвычайно неровный; различается несколько глубоководных впадин, разделенных подводными хребтами, наиболее высокие вершины которых поднимаются над поверхностью озера в виде остро-вов. Озеро состоит из одного главного (Северного) и четырех меньших отдельных бассейнов: Ишунгу, Калехе, Букаву и Кабуно. Северный бассейн, образованный, скорее всего, в плиоцене, перекрыт осадочными толщами, имеющими мощность около 300, местами 500 метров. В других местах толщина осадка не превосходит 100 м. Анализ стратиграфических колонок, отобранных в заливе Букаву, показывает, что донные отложения имеют здесь слоистую структуру, состоящую из редкого минерала моногидрокарбоната, перемежающегося с диатомовыми водорослями, перекрывающимися сапропелями с высоким содержанием пирита (Nauar, 2009). Они найдены в трех различных интервалах. Геофизические данные свидетельствуют, что стадия вулканической и геотермальной активности следовала практически сразу за образованием грабена.

Периодически, несколько раз в столетие, в озеро Киву сползают потоки раскаленной лавы. В это время вода у северных берегов может закипать и над озером на десятки метров вздымаются в высоту фонтаны белого пара и кипятка. Вода у берега становится грязно-желтой, бурлит и пенится, и из нее высквакивают бесконечные пузырьки зловонных газов. Так происходило в 1912 г., когда берегов оз. Киву достиг мощный лавовый поток, излитый вулканом Румока, в 1938 г. во время извержения влк. Ньямлагире, в 1948 г. при извержении влк. Мухуболи. В январе 2002 г. в результате очередного извержения влк. Нирагонго лавовые потоки опять достигли оз. Киву в районе г. Гома, продвинувшись приблизительно на 100 м вглубь его акватории до глубин 70 м (Wafula et al, 2007). Вулканы Ньямлагире и Нирагонго, сливающиеся в своем основании, по праву считаются самыми активными вулканами Африки. С начала наблюдений (конец XIX в.) Ньямлагире

извергался более 40, а Нирагонго – более 35 раз. При этом отмечались периоды, когда деятельность вулканов была непрерывна в течение нескольких лет. Вулканы есть и в самом озере, целый ряд затопленных или полузатопленных вулканических конусов поднимается со дна в его северной части.

### ***История заселения озера и его роль в жизни окружающих народов***

Изначально берега оз. Киву населяли пигмеи, занимавшиеся охотой и собирательством. Между 11-м и 15-м веками с юга пришли бантуязычные племена хуту, занимающиеся земледелием. Вырубая леса под пашни, хуту оттеснили пигмеев вглубь джунглей. В 16-м в. с севера пришли нилотские племена тутси. Тутси стали владычествовать и над хуту, и над пигмеями. Хуту занимались сельским хозяйством, пигмеи (тва) продолжали жить в джунглях или становились слугами и у хуту, и у тутси, а тутси занимались воинским ремеслом и были владельцами всего скота и всех сельхозугодий в Руанде. К приходу европейцев Руанда являлась одним из наиболее организованных и централизованных королевств центральной части Восточной Африки. Хуту представляли численное большинство, а тутси входили в правящую элиту.

Первым европейцем, достигшим в 1894 г. берегов оз. Киву был немецкий исследователь Густав Адольф фон Готцен. С конца XIX в. начинается колониальный период развития народов, населяющих побережье оз. Киву. С 1890 г. согласно Брюссельской конференции восточное побережье оз. Киву (современная Руанда) отошло под юрисдикцию Германии, а западное – Бельгии. В ходе Первой мировой войны бельгийские войска вторглись на территорию Руанды с территории Бельгийского Конго, и к 1916 году полностью её захватили. В 1960-е гг. терпит крах колониальный режим, в июне 1960 г. была объявлена независимость Конго, в июле 1962 г. – Руанды. Период после объявления независимости характеризуется огромным количеством межэтнических конфликтов, революционных переворотов и гражданскими войнами. Наиболее кровавым оказалось противостояние между хуту и тутси, закончившееся в 1994 г. геноцидом в Руанде, когда за 100 дней было убито около миллиона человек, преимущественно принадлежащих к народности тутси. Факт геноцида затем был



признан и осужден во всем мире. После геноцида 1994 г. гражданская война в Руанде продолжалась до 1998 года, затронув, в основном, северо-западные районы страны и часть территорий восточного Заира. Непосредственным следствием геноцида в Руанде явились также первая (1996—1997 гг.) и вторая (1998—2002 гг.) Конголезские войны, интурийский конфликт (с 1999 г.) и конфликт в Северном Киву (2004—2009 гг.). Район озеро Киву продолжает оставаться одним из самых взрывоопасных регионов мира.

Оз. Киву играет важнейшую роль в жизни людей, обитающих по его берегам, и служат для них источником воды и пропитания. На озере развито судоходство, рыболовство, туризм. Со дна озера происходит добыча метана, причем после 2004 г. темпы добычи существенно возросли. Река Рузизи, вытекающая из озера, используется для орошения сельскохозяйственных земель в ее низовьях, где выращивается хлопчатник, рис и др. Кроме того, на реке развита гидроэнергетика. В отличие от других Больших Африканских Озер, оз. Киву не только обеспечивает проживание и пропитание проживающих по его берегам народов, но и является источником огромной потенциальной опасности, связанной с содержанием громадных накоплений газа в его придонных слоях.

#### ***Характеристики термического режима и температурная стратификация.***

Несмотря на то, что оз. Киву расположено чуть южнее экватора, в регионе достаточно четко выражены внутригодовые колебания температуры и влажности. Более прохладный и ветреный сухой сезон продолжается с июля по сентябрь.

Озеро меромиктическое. Слой температурного скачка варьирует по сезонам: во влажный сезон он находится на глубине 20-30 м, а в сухой – 40-50 м. Обычное для тропических озер понижение температуры воды с глубиной наблюдается лишь в верхнем семидесятиметровом слое. В эпилимнионе температура воды составляет 24-25°C. Достигнув слоя температурного скачка на границе с миксолимнионом, температура резко понижается, и остается на уровне 20-23°C до глубины 70 м, то есть до границы с гиполимнионом. Затем с глубиной температура воды начинает расти, что объясняется влиянием вулканической и поствулканической деятельности. Поднятию

теплой придонной воды наверх препятствует ее более высокая минерализация, делающая воду для этого слишком тяжелой.

#### ***Водный баланс. Уровенный режим.***

Оз. Киву фактически не имеет крупных постоянных притоков. Приходная часть его водного баланса приблизительно в равной степени состоит из осадков, выпадающих на его поверхность, и поверхностного и грунтового стока. В озеро разгружаются лишь небольшие речки. Значительная часть дождевых вод, стекающих с окрестных гор, просачивается в грунтовые слои. В данном регионе, с высокой вулканической и гидротермальной активностью, грунтовые воды, находящиеся под значительным гидравлическим давлением, быстро нагреваются и растворяют в себе большое количество солей, вымываемых из водонапорных пород или, подобно ряду газов, поступающих из земных глубин. Обогащенная растворенными солями вода разгружается в озеро посредством гидротермальных источников. Единственным оттоком из озера является р. Рузизи, впадающая в оз. Танганьика, расположенное на 690 м ниже оз. Киву. Величина оттока составляет 3.2 км<sup>3</sup>/год (Case Studies, 2007).

Уровень воды оз. Киву подвержен лишь небольшим внутригодовым (амплитуда около 0.25 м) и многолетним колебаниям между отметками 1462 и 1463 м.

#### ***Основные характеристики качества вод***

Содержание растворенных солей в поверхностном слое оз. Киву составляет около 1 г/л, электропроводность 1160  $\mu$ S/см, на глубине более 80 м - 4 г/л и 2000-2400  $\mu$ S/см, соответственно (Isumbisho M. et al., 2006). Повышенному содержанию солей с глубиной способствует разгрузка холодных и горячих источников в глубокой части озера. pH с глубиной убывает с 9.3 до 6.5-7.0. Мощность эфотического слоя оценивается в 18 м и не превышает 25 м. На глубине от 20 до 60 м располагается миксолимнион. Первый хемоклин находится на глубине около 60 м, между миксо- и гиполимнионом. Более медленное перемешивание идет до глубины 270 м, около которой наблюдается наибольший градиент плотности и на которой расположен второй хемоклин, ниже начинается застойный "мертвый слой" с наиболее высокими концентрациями растворенных газов (углекислый газ, метан, азот, сероводород и др.).

Кислородом постоянно насыщен лишь самый верхний слой в 30-40 м, испытывающий наиболее частое перемешивание. Во время сухого сезона перемешиванию подвергаются более глубокие слои, и кислород присутствует до глубины 60-80 м (Isumbisho M. et al., 2006). Средняя концентрация хлорофилла-а в миксолимнионе составляет по данным Sarmiento et al. (2006) 2.2 мкг/л, и по более поздним данным Sarmiento et al. (2009) – 2.12 мкг/л, изменяясь от 0.63 до 3 мкг/л. Его максимальная концентрация (до 4.55 мкг/л) наблюдается в прибрежной зоне, в зал. Букаву и Кабуно, в местах впадения в озеро рек, особенно более крупных западных притоков (Kneubühler et al., 2007). Наименьшие концентрации хлорофилла характерны для основного северного бассейна. На глубине более 60-70 м хлорофилл исчезает. Уровень биогенных веществ не высокий, что позволяет отнести озеро к олиготрофным водоемам.

В нижнем “мертвом слое” оз. Киву в растворенном молекулярном состоянии содержится метан, образующий здесь месторождения промышленного значения. Метан присутствует в глубинных водах в смеси с углекислым газом, азотом, небольшим количеством сероводорода и других газов. Растворенная газовая смесь удерживается в воде высоким давлением, которое достигается с глубины 275 м. Различные количества газа содержат все бассейны озера, кроме бас. Букаву. Согласно большинству гипотез метан имеет преимущественно биогенное происхождение, он выделяется при разложении при помощи метаногенических бактерий отмерших планктонных организмов, оседающих на дно с поверхности озера. Диоксид углерода, имеет магматическое происхождение (Schoell et al. 1988). Запасы метана оценены в 55 млрд. м<sup>3</sup>, двуокси углерода – в 250 млрд. м<sup>3</sup> и азота – в 5 млрд. м<sup>3</sup> (Case Studies, 2007). Недавние исследования свидетельствуют об увеличении накопления метана за последние три десятилетия приблизительно на 15-20% (Schmid et al., 2005). Одна из высказываемых гипотез, объясняющих это увеличение – повышение поступления биогенных веществ, связанное с быстро растущим населением и активным развитием сельскохозяйственного производства в бассейне озера (Langenberg et al. 2003). Однако она не имеет широкого подтверждения (Muvundja et al., 2009).

До 2004 г. добыча метана со дна озера происходила в небольших объемах. На настоящее время в его крупномасштабном извлечении за-

интересовано правительство Руанды, ведущее пока переговоры со всеми заинтересованными сторонами. Предполагается, что извлечение газа будет достаточно простым и эффективным, позволит увеличить выработку электроэнергии Руанды в 20 раз и даст возможность продавать ее в другие африканские страны (Case Studies, 2007). На сегодняшний день предложено несколько проектов по извлечению метана, однако ни один из них пока не осуществляется.

Метан, содержащийся в озере, представляет потенциальную угрозу населению, проживающему в бассейне. В последнее время осознание этой опасности резко увеличилось, особенно после извержения влк. Нирагонго, произошедшего в 2002 г., когда лавовые потоки проникли в озеро на значительное расстояние до глубин более 70 м (Halbachs et al., 2002, Wafula et al., 2007). Попадание в озеро раскаленной лавы может привести к катастрофическим последствиям. Исследования языков лавы последнего извержения свидетельствуют, что они проникают на значительную глубину и достижение ими взрывоопасных слоев представляется вполне реальным. Так как озеро располагается в зоне не только активной вулканической, но и тектонической деятельности, кроме опасности внезапного возгорания слоя метана в результате извержения вулканов вблизи озера, существует и опасность резких тектонических движений земной коры, которые могут привести к образованию цунами с катастрофическими последствиями в результате перестройки всей водной массы. Согласно Wafula et al. (2007) сейсмическая активность в регионе после 1997 г. усилилась, что требует проведения ее постоянного мониторинга с целью предупреждения вероятности катастрофических землетрясений. Взрыв содержащихся в озере газов может привести к ужасающим последствиям, и полностью уничтожит как города Гома и Гисеньи, расположенные на северном побережье оз. Киву, так и города Букаву и Чьянгугу на его южном побережье. Потенциально возможные жертвы могут превысить 2 млн. человек.

#### **Основные биологические особенности. Ихтиофауна, рыбная ловля.**

Среди фитопланктона оз. Киву преобладают диатомовые водоросли: *Nitzschia bacata*, *Fragilaria danica*, *Urosolenia* sp., *Synedra acus* и сине-зеленые: *Planktolyngbya limnetica*, *Synechococcus* sp, *Microcystis* sp. (Sarmiento H. et al.,



Уловы рыбы на оз. Киву по странам

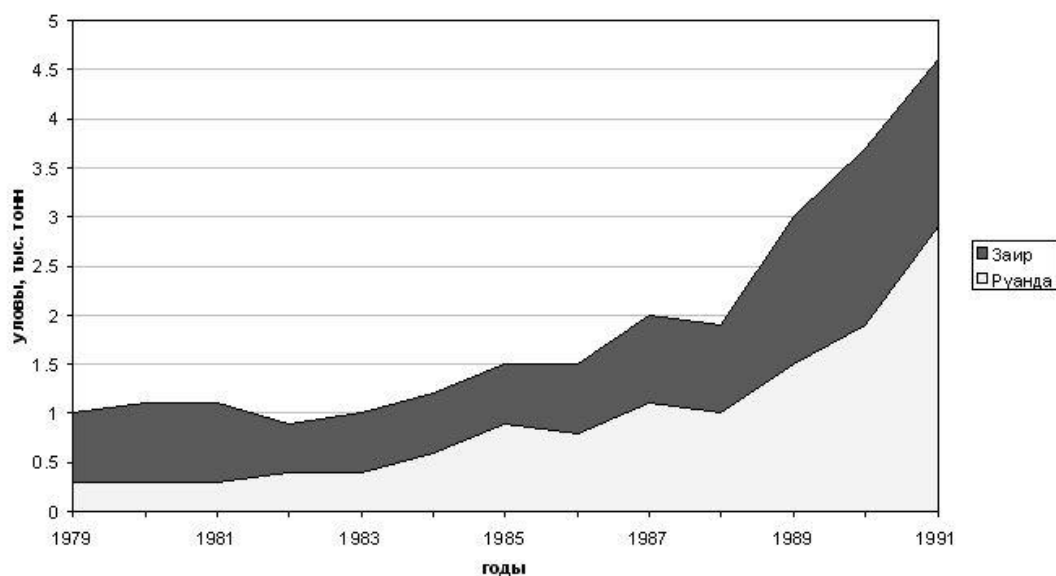


Рис. 1.33. Уловы рыбы на оз. Киву по данным Greboval et al. (1994)

2007, 2009). Диатомовые доминируют в течение всего года, особенно в сухой сезон, в период выпадения дождей наблюдается господство сине-зеленых. Согласно Hecky and Kling (1987) биомасса фитопланктона оценивается в 550-2100 мг/м<sup>3</sup>. Первичная продуктивность согласно Beadle (1981) составляет 1.44 мгС/м<sup>2</sup> день, а согласно Sarmiento H. et al. (2007) – от 0.19 до 1.43 мгС/м<sup>2</sup> день. Наибольший расцвет фитопланктона приходится на сухой сезон (Sarmiento et al., 2009).

Среди зоопланктона преобладают веслоногие ракообразные подотряда циклопоиды: *Mesocyclops aequatorialis*, *Thermocyclops consimilis*, *Tropocyclops confinis* также встречаются ветвистоусые рачки: *Alona rectangularis*, *Ceriodaphnia rigaudi*, *Diaphanosoma excisum*, *Moina dubia* и коловратки: *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus falcatulus*, *B. caudatus*, *B. falcatulus*, *B. calyciflorus*, *Keratella tropica*, *Colurella* sp., *Lecane* sp., *Trichocerca* sp., *Polyarthra* sp., *Hexarthra* sp. (Damas, 1964, Isumbisho et al., 2006). Общая биомасса зоопланктона в озере изменяется в течение года от 0.1 до 1.5 гС/м<sup>2</sup> (Isumbisho M. et al., 2006). В сухой сезон его численность выше.

В связи со своим вулканическим происхождением, геологической молодостью и изолированным положением озеро обладает достаточно бедной фауной. Как указывает анализ геологической истории озера, практически каждые

тысячу лет озерная биота обновляется, после того как старая уничтожается вулканическими процессами и связанными с ними выделениями ядовитых газов. Современная фауна сформировалась в процессе заселения озера видами, обитающими в его боковых притоках. Заселение через р. Рузизи из оз. Танганьика исключается из-за многочисленных водопадов и порогов, образующих непреодолимые препятствия, как для рыб, так и для крокодилов и пр.

Рыбные ресурсы озера крайне ограничены. В озере водятся 26 видов рыб (Isumbisho et al., 2006), из которых 15 являются местными, в том числе представитель семейства карповых – барбус (*Barbus*), сомообразных – кларис (*Clarias*), цихлиды – *Haplochromis* sp. Все они относятся к речным формам, мало изменившимся в озерных условиях. Практически вся озерная рыба обитает в основном в очень узкой мелководной зоне у самых берегов, в открытых водах ее практически нет. Среди неродных видов - подселенные в 1950 г. тилапии (*Tilapia rendalli* и *Oreochromis macrochir*), и подселенные в 1959 г. танганьикская сардина (*Limnothrissa miodon*) и нильская тилапия (*Oreochromis niloticus*). Танганьикская сардина – планктоноядная рыба отряда сельдеобразных, ставшая одним из наиболее многочисленных в озере видов. С момента ее подселения в структуре озерной биоты произошли значительные изменения, прежде всего практически исчезли

дафнии (*Daphnia* sp.), составлявшие ранее основу зоопланктонного сообщества.

Рыбная продуктивность оз. Киву значительно меньше, чем других Больших Африканских озер. Годовые уловы не превышают 5 тыс. тонн (рис. 1.33), а величина потенциальных уловов оценивается в 13 тыс. тонн (Greboval et al., 1994). Уловы состоят преимущественно из танганьикской сардины, для пропитания также вылавливаются тилапии и *Haplochromis* sp. На руандской стороне озера рыболовство развивалось достаточно быстро в рамках проекта развития рыбной ловли UNDP/FAO, начавшегося в 1979, тогда как на конголезской оно значительно сдерживалось после национализации рыбной ловли. На начало 1990-х годов на озере было занято около 6500 рыбаков. Периодически происходящие в регионе вооруженные конфликты способствуют снижению уловов, так, наблюдалось существенное падение уловов с середины 1990-х годов.

#### ***Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне. Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

Площадь водосбора оз. Киву составляет 7000 км<sup>2</sup>, здесь проживает более 2 млн. человек. На его северном побережье расположены крупные города Гома (200000 жит., ДРК) и Гисеньи (110000 жит., Руанда), а на южном – Букаву (500000 жит., ДРК) и Чьянгугу (20000 жит., Руанда). Уровень жизни местного населения очень низок, а темпы его прироста высокие и составляют около 3% в год. В Руанде ВВП на душу населения в 2009 г. составлял около 900 \$ США, а в ДРК – около 300. Ниже уровня бедности проживает более 60 % населения.

Поскольку озеро расположено в сейсмически и вулканически активном регионе, хозяйственная деятельность в бассейне затруднена. Регулярные землетрясения и извержения вулканов наносят существенный ущерб хозяйству и населенным пунктам региона, приводят к постоянным человеческим жертвам. Кроме того, они вызывают частые оползни; среди других негативных факторов: регрессивная эрозия, закупорка водоносных слоев (Wafula et al., 2007). Вулканические извержения сопровождаются выбросами в атмосферу газов и вулканического пепла. Вулканические газы, смешиваясь с атмосферной влагой, приводят к выпадению кислотных дождей. В последние десятилетия к природным факторам добави-

лись негативные последствия активной антропогенной деятельности: сведение лесов на водосборе, слабая сельскохозяйственная практика и др. Как результат, количество оползней еще более возросло, деградация почв стала еще более выражена. Поверхностный смыв оценивается в 74 тонны/км<sup>2</sup> год (Muvundja et al., 2009).

К негативным антропогенным последствиям следует также отнести увеличивающееся загрязнение озера, связанное с примитивными системами канализации и очистки стоков, а также с сельскохозяйственным развитием в бассейне. Однако, несмотря на значительный антропогенный пресс, поступление биогенных веществ не очень высокое. Привнос растворенного фосфора оценивается (Muvundja et al., 2009) в 230 тонн P/год, а азота – в 5400 тонн N/год. Поступление кремния составляет около 40000 тонн Si/год причем реки приносят около 60%, и 40% приходится на грунтовые воды. Фосфор является элементом, лимитирующим первичную продукцию. Как и в других Больших Африканских озерах, в оз. Киву внешняя биогенная нагрузка значительно уступает внутренией.

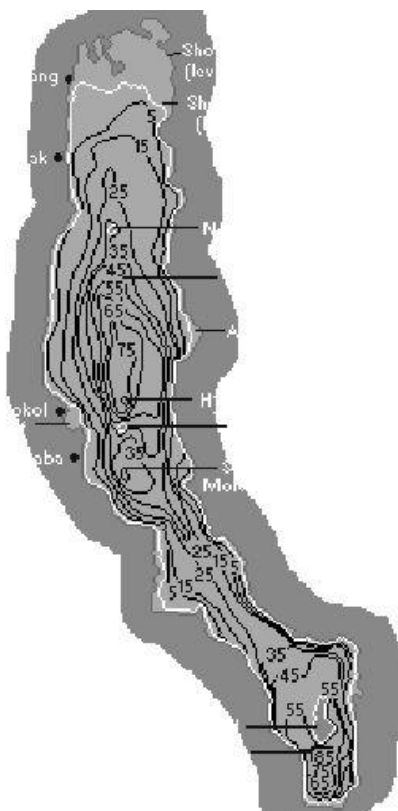
Дальнейшие перспективы развития региона связаны с возможностью добычи из озера метана, поэтому вопросам его извлечения сейчас уделяется особое внимание. Вместе с этим в последнее десятилетие усилился интерес к лимнологии озера, в том числе в области гидрохимии и биологии.

#### **1.9. ОЗЕРО ТУРХАНА (РУДОЛЬФ)**

Озеро Турхана (Рудольф) – одно из Больших Африканских Озер, единственное расположенное в пределах Восточного рифта (рис. 1.34). Его координаты: 2°23'-4°40'с.ш.; 35°50'-36°43' в.д., урез воды находится на высоте 360.4 м над уровнем моря. Озеро расположено на северо-западе Кении и на юге Эфиопии, большая часть водной акватории принадлежит Кении. Озеро получило свое название «Рудольф» в 1888 г. в честь наследного принца Австрии Рудольфа во время экспедиции, возглавляемой венгром Самюэлем Телеки, первым из европейцев достигшим его берегов. Это название оно сохраняло в течение всего колониального периода. В 1975 г. президент независимой Кении Мзи Джомо Кеньятта переименовал озеро в «Турхана» по названию наиболее многочисленного племени,

обитавшего на его берегах.

Оз. Турхана самое соленое из всех крупных африканских озер. Его площадь водной поверхности в зависимости от высоты уровня воды составляет от 5400 до 7570 км<sup>2</sup>, длина озера 265 км, максимальная ширина – 50 км, средняя глубина – 30,2 м, максимальная – 109 м, объем заключенной воды – 203,6 км<sup>3</sup>. Озеро вытянуто в северной части почти строго вдоль меридиана, а в южной - с северо-запада на юго-восток. Берега полупустынные с чахлыми колючими кустарниками и редкой жесткой травой.



**Рис. 1.34.** Озеро Турхана. Источник: LBRI&ILEC 1989

Оз. Турхана - крупное сбросовое озеро, занимающее основание двух грабенов северной оконечности Восточного рифта. Регион слагают древние породы докембрийского возраста, представленные гранитами, перекрытые местами более молодыми лавами третичного и четвертичного периода, излившимися в период активной вулканической деятельности. Вдоль всего восточного побережья тянется гряда наиболее древних черных вулканических гор, тогда как более поздние, плейстоценовые лавовые потоки образовали барьер у южной оконечности озера; осадочные породы четвертичного возраста доминируют на западной и северной стороне. На озере несколько островов

вулканического происхождения, о-в Центральный представляет собой действующий вулкан.

Уровень воды озера в более ранние эпохи намного превосходил сегодняшний. Наибольшая высота террас, оставшихся как след древних берегов, составляет 75-80 метров. Предполагается, что раньше, в период раннего голоцена, озеро входило в систему р. Нил, его южная оконечность соединялось с оз. Баринго, а из северной брал начало Белый Нил. Потеря связи произошла в связи с вулканической деятельностью, имевшей место в позднем голоцене. Подтверждением данной гипотезы является определенное родство озерной фауны с Нильской. На сегодняшний день озеро бессточное

### ***История заселения озера и его роль в жизни окружающих народов***

По мнению многих ученых регион вокруг оз. Турхана является прародиной человечества. Здесь, на восточном побережье озера, обнаружены орудия труда и останки предков людей, живших около 3 млн лет назад. Значительно позже территория Кении была заселена людьми, близкими по своим чертам к нынешней эфиопской расе, среди которых до сегодняшнего дня сохранились народы группы нилотов. В условиях пустыни главная ценность — вода, так что местные народы постоянно кочуют в поисках пастбищ. Их традиционное занятие — кочевое скотоводство (крупный и мелкий рогатый скот, верблюды). В местах выпаса скота иногда возделывают землю. В случае засухи семьи, состоящие из 4-5 хозяйств, разделяется, чтобы легче было найти пропитание для себя и животных. (Ольдерогге, 1954).

В настоящее время по берегам озера Турхана обитают малочисленные народы: туркана, рендилл, габра, дасанах, хамар коке, каро, ньягтолм, мурси, сурма и моло. Самый большой по численности народ – туркана. Туркана делятся на ряд родо-племенных групп, во главе которых стоят вожди. Они весьма воинственны и нередко совершают вооруженные набеги на соседние племена, чтобы увести у них скот, зачастую объединяясь для этого с соседями. Начиная с середины XX века, многие туркана перешли к оседлости, расселившись в новообразованных посёлках (Воляк, 2009). С этого же времени среди туркана и некоторых других народов распространяется рыболовство.

Оз. Турхана играет важную роль в жизни обитающих по его берегам народов. Вода озера

Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, оз. Турхана

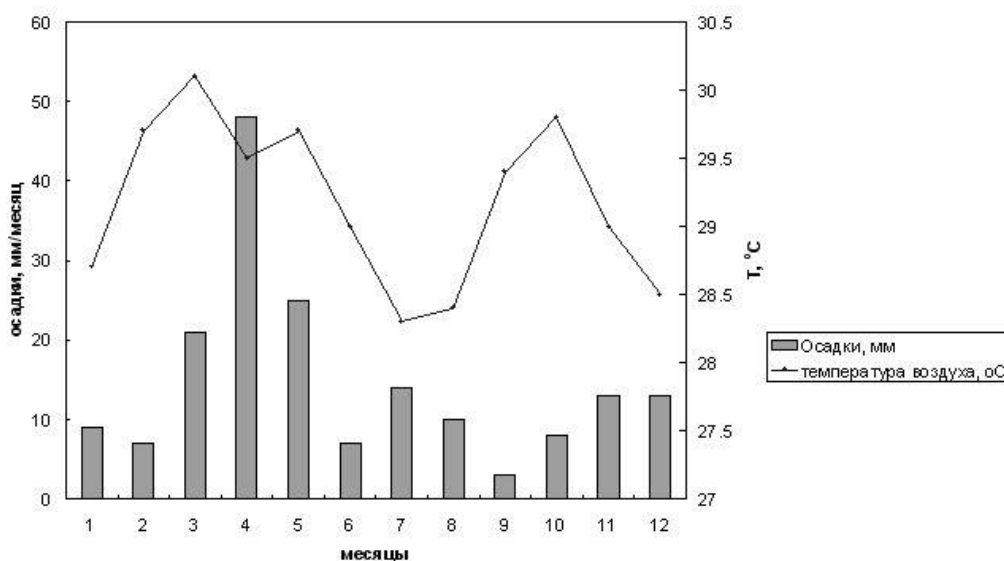


Рис. 1.35. Среднемесячные параметры климата по данным ИЛЕС.

в силу чрезмерной солёности фактически неприемлема для питья. Она поддерживает богатое биологическое разнообразие озёрного мира и отчасти обеспечивает пропитание народов, проживающих в бассейне озера.

**Характеристики термического режима и температурная стратификация**

Регион озера занят жарким аридным климатом. Среднемесячные осадки на большей части бассейна не превышают 250-500 мм. Выпадение осадков плохо предсказуемо, однако большая их часть выпадает в течение дождливого периода (с марта по май). Температура варьирует от 19.5 до 39.9°C, ее средние дневные значения составляют при этом 29°C (рис. 1.35). В районе озера наблюдаются частые сильные ветры, преимущественно юго-восточного направления.

Озеро мономиктическое. Вода его очень теплая, температуры у поверхности варьируют от 27.5 до 31.0°C, у дна (70 м) – от 25.5 до 27.0°C. При сильных ветрах происходит перемешивание всей водной колонки. (ИЛЕС, 1989).

**Водный баланс. Уровненный режим.**

Основной приток оз. Турхана - р. Омо, впадающая с севера и несущая более 90% притока. Остальные реки временные, текущие только в период выпадения дождей. Вторая по крупности р. Тарквел Джордж в настоящее время

перегорожена дамбой в 150 км западнее озера и используется в энергетических целях.

Третьим по крупности притоком является р. Керио. Общий приток в озеро составляет около 19 км<sup>3</sup>/год (Kolding, 1993). Отток отсутствует, и потери происходят преимущественно за счет испарения. Испаряемость оценивается в 2335 мм/год.

Уровень воды оз. Турхана подвержен значительным колебаниям (рис. 1.36), зависящим от климатических вариаций, и определяется балансом между речным и подземным притоком и испарением с поверхности озера. Уровень воды существенно снизился с начала XX в. Наиболее низкие значения имели место в 1940-50-х гг. и 1980-х - начале 1990-х гг., что было вызвано как периодом засухи, так и увеличившимся водозабором на ирригацию в верхней части бассейна р. Омо. С 1996 по 1999 гг. наблюдалось повышение уровня на 4.5 м, сменившееся его плавным снижением в 2000-е гг. Изменения уровня влекут за собой существенные изменения площади водного зеркала. В результате различные авторы дают разные оценки морфометрических характеристик, которые различаются в пределах 20%.

В результате снижения уровня озера в конце XX века происходило нарастание дельты р. Омо. На рис. 1.37 представлены спутниковые фотографии дельты (северная часть озера) в 1973 и 1989 гг. За 16 лет из-за снижения уровня

График уровня воды оз. Турхана, 1885-2010 гг.

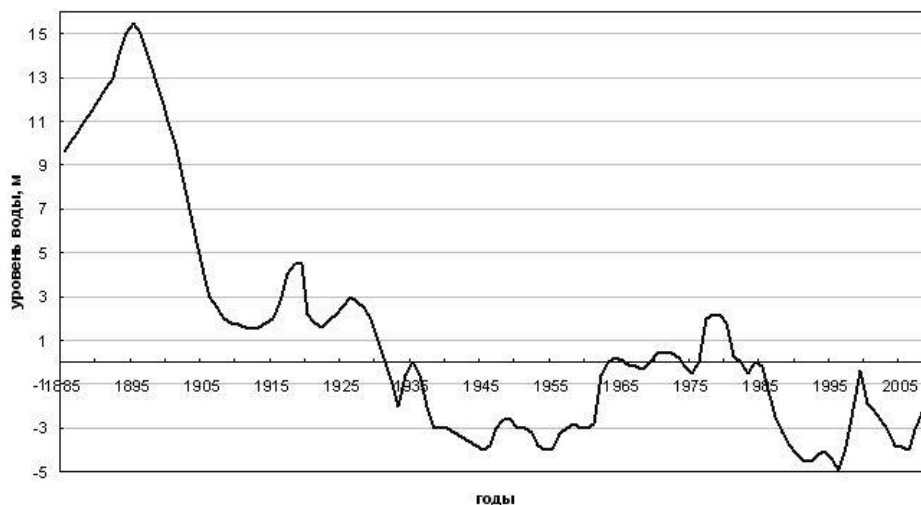


Рис. 1.36. Изменения уровня воды оз. Турхана по данным ILEC, TOPEX/Poseidon historical archive.

воды дельта реки увеличилась приблизительно на 380 км<sup>2</sup>. Наряду с многолетними изменениями уровня оз. Турхана испытывает его значительные сезонные колебания, составляющие от 1 до 3-4 м. Годовой максимум уровня приходится на октябрь/декабрь (Mercier et al. 2002) и совпадает с повышением уровня в р. Омо.

#### Основные характеристики качества вод

Вода озера всегда мутная из-за высокого содержания взвешенного материала в питающих его реках. Прозрачность в центральной части составляет 1-4.5 м (ILEC), в прибрежной - 0.8 – 1.2 (Campbell et al., 2003).-. Наиболее высокие значения наблюдаются весной (март-апрель), наиболее низкие – осенью. Вода высоко минерализованная, содержание солей оценивается 2.44 г/л (Kolding, 1993), электропроводность 2500-3600  $\mu$ S/см (Campbell et al., 2003). Осаждение минералов противодействует аккумуляции солей в озере. В частности, Ca, Mg, K преимущественно осаждаются, так что среди растворенных катионов преобладает Na (33.4-40.2 мг-экв./л), среди анионов – хлориды и бикарбонаты. pH 9.2-10.5. У поверхности вода насыщена растворенным кислородом, концентрация которого оценивается в 6.8-8.4 мг/л (Campbell et al., 2003). Его содержание существенно изменяется с глубиной в зависимости от температурной стратификации. Согласно Cohen (1984) вода в северной и южной части озера хорошо насыщена кислородом до дна. В период

стратификации на глубине более 70 м растворенный кислород сокращался с 2.4 мг/л в июне 1987 до 0.2 в мае 1988 г.

Концентрация общего азота – 600-2100 мкг/л, общего фосфора – 277 мкг/л, кремний – 18-19.8 мг/л. (Tuite, 1981, Wood et al., 1988, Liti et al., 1991). Азот имеет преимущественно речное происхождение; Kolding (1993) отмечает уменьшение содержания общего азота по мере удаления от устья р. Омо. Концентрация хлорофилла-а в поверхностном метровом слое составляет 126-146 мкг/л (Campbell et al., 2003). В период, когда вода стратифицирована, концентрация хлорофилла-а на глубине низкая, тогда же когда вертикальное перемешивание наиболее интенсивное, хлорофилл равномерно распределен по глубине. Содержание органического материала составляет 12-46%, или 1.4 мг/л ((Liti et al., 1991).

#### Основные биологические особенности. Ихтиофауна, рыбная ловля

В дельтах трех основных постоянных притоков озера, также как и в дельтах множества временных наблюдается изобилие макрофитной растительности (Cohen, 1989). В фитопланктоне доминируют сине-зеленые водоросли, среди которых наиболее многочисленен *Microcystis aeruginosa*, много *Botryococcus braunii*, *Anabaenopsis arnoldii* (Liti, Kallqvist, Lien, 1991) встречаются зеленые: *Planctonema lauterbornii*, *Oocystis gigas*, *Sphaerocystis schroeteri*, диатомовые: *Coscinodiscus* sp., *Surirella* sp.



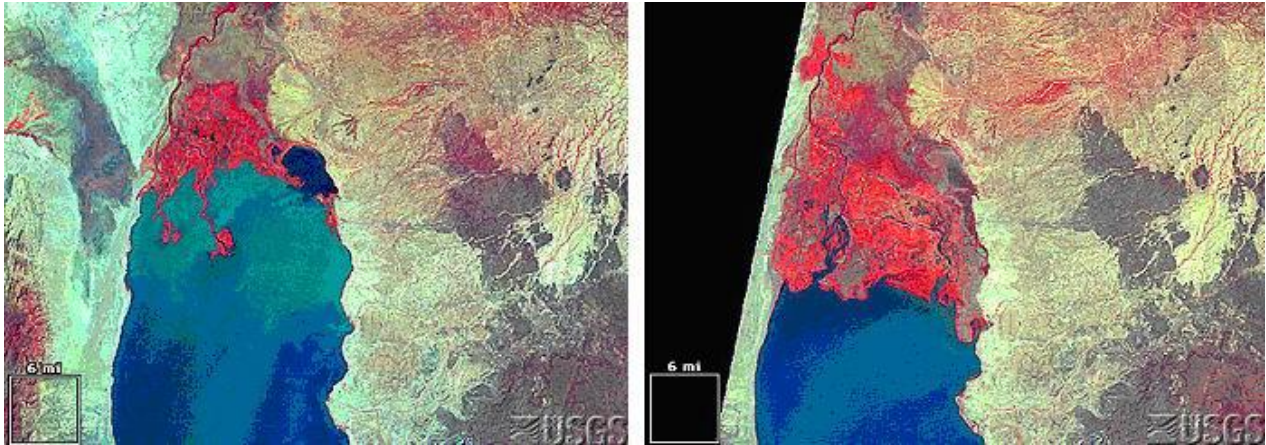


Рис. 1.37. Спутниковые фотографии дельты р. Омо за 1 февраля 1973 г. и 12 января 1989 г. Снимки спутников Геологической Службы США, сайт USGS.

(LBRI&ILEC, 1989). Благодаря многочисленности *Microcystis aeruginosa* озеро имеет уникальный нефритовый цвет. Развитие фитопланктона в озере лимитируется поступлением биогенного вещества и света. Ограниченность света вызывается высокой турбулентностью и вертикальным перемешиванием воды. Продуктивность озера изменяется по глубине от 0.22 до 0.76 г $O_2$ /м<sup>2</sup> час, 0.7-2 кг $O_2$ /м<sup>2</sup> год (Liti, Kallqvist, Lien, 1991). Согласно Kolding (1993) первичная продуктивность южной части озера в среднем на 10% ниже, чем северной.

Зоопланктон представлен веслоногими ракообразными: *Tropodiptomus banforanus* (около 60% биомассы), *Mesocyclops leuckartri*, *Thermocyclops hyalinus*, ветвистоусыми рачками: *Diaphanosoma excisum*, *Ceriodaphnia rigaudi*, *Moina* spp., протозоа (*Vaginicola* sp.) (LBRI&ILEC, 1989)

В озере Турхана зафиксировано 47 видов рыб (Campbell et al., 2003). Основной объект рыболовства – нильский окунь (*Lates niloticus*), лабео (*Labeo horie*) и *Oeochromis niloticus*. Также распространены представители семейства алестид: *Alestes baremose*, *A. minutus*, *A. ferox*, *Brycinus macrolepidotus*, *B. nurse*, *Hydrocynus forskalii*, *H. vittatus*, *Micralestes elongatus*, цитариниды: *Distichodus niloticus*, *Citharinus citharus intermedius*, клариевые: *Clarius gariepinus*, косатковые: *Bagrus bayad*, перистоусых сомов: *Syndontis schall*, иглобрюхих: *Tetraodon lineatus*, цихлиды *Oreochromis niloticus niloticus*, *O. niloticus vulcani*, полиптериды: *Polypterus bichir*, *P. senegalus*., представитель отряда костеязычнообразных *Gymnarchus niloticus*, *Heteerotis niloticus*, *Mormyrus kannume*.

Годовой улов рыбы в зоне открытой воды оценивается в 5000-31000 тонн (Kolding, 1993). Величины потенциального улова для озера сильно различаются. FAO/UNDP, (1966) оценили его в 50000-160000 тонн, Balarin (1985) в 20000 тонн, а Vanden Bossche and Bernacsek (1990) в 5000-10000 тонн. Столь большая разница, вероятно, связана с изменениями уровня воды, сказывающимися на рыбной производительности (Greboval et al., 1994).

Kolding (1993) отмечает, что при снижении уровня воды с 1979 по 1987 г. на 6 м коммерческие уловы снизились на 80%. При этом особенно сильно сократилась продуктивность небольших видов алестид. Снижение рыбной продуктивности последовало за уменьшением продуктивности зоопланктона, составившим по оценке Kolding (1993) 56%. Устойчивая тенденция к снижению уловов, наблюдаемая с начала 1970-х до начала 1990-х гг. (рис. 1.38), была вызвана как снижением уровней воды и пересыханием зал. Фергузона, так и перемещением основных рыболовецких коллективов с оз. Турхана на оз. Виктория.

В озере Турхана обнаружено много нильских крокодилов, по оценке, произведенной в 1968 г., их количество составляло 14000 экземпляров. Скалистые берега изобилуют ядовитыми змеями и скорпионами. На озере обитает и размножается много местных видов птиц, кроме того, здесь останавливается большое количество мигрирующих птиц. Среди редких видов: африканский водорез (*Rhyncops flavirostris*), гнездящиеся на берегах Центрального острова, белошея жадина (*Phalacrocorax africanus*), дрофа Хеуглина (*Neotis heuglinii*),



Уловы рыбы на оз. Турхана

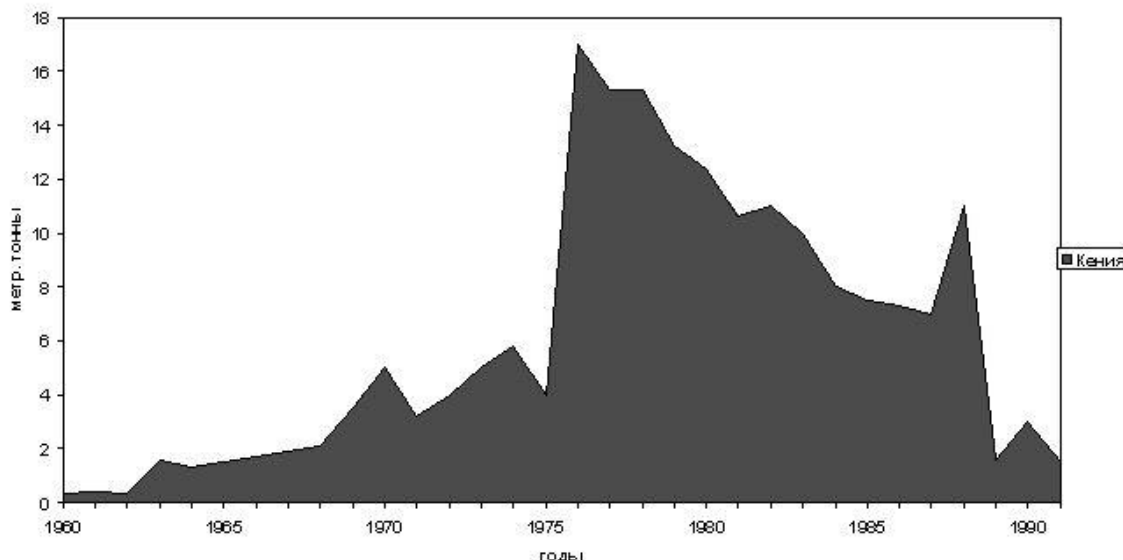


Рис. 1.38. Уловы рыбы на оз. Турхана с Кенийской стороны по данным Greboval, 1994

пеликаны (*Pelecanus rufescens*), шпорцевый чи-бис (*Vanellus spinosus*), галстучники (*Chara-drius hiaticula*, *C. asiaticus*, *C. pecuarius*), кулик-воробей (*Calidris minuta*), большая белая цапля (*Casmerodius albus*), седлоклювый ябир (*Ephipiorhynchus senegalensis*), окаймленный змеяд (*Circaetus cinerascens*), орлан-крикун (*Haliaeetus vocifer*), лисья пустельга (*Falco alopex*), сомалийский воробей (*Passer casta-nopterus*). На мелководье обитает множество фламинго (*Phoenicopterus roseus*).

**Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне. Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Площадь бассейна оз. Турхана составляет 130860 км<sup>2</sup>, поскольку он расположен в одном из самых засушливых и бесплодных регионов Восточной Африки, где отдаленность от источников пресной воды позволяет развивать лишь кочевое скотоводство, здесь проживает всего около 300000 человек (Impacts..., 2009), это, прежде всего, кочевые и полукочевые народы. Прирост населения составляет 2.9% в год. Из-за сложных климатических условий уровень жизни местных народов катастрофически низкий. Ограниченность водных и земельных ресурсов, пригодных для выпаса скота, приводит к периодическим столкновениям между племенами. После длительных засух, приносящих в регион повальный голод, местные народы получают продовольственную помощь от всего мира.

Хозяйственная деятельность на водосборе минимальна. Прежде всего, она связана с выпасом скота. Важнейшей перспективной отраслью экономики является рыболовство, развитие которого может существенно улучшить жизненный уровень местных жителей. Однако его развитие происходит достаточно медленно и заинтересовывает лишь отдельные народы. Попытки организовать индустриальный лов рыбы потерпели неудачу в конце XX в., в том числе из-за снизившихся рыбных запасов в озере в ответ на наблюдавшееся в конце XX в. уменьшение его уровня. Однако специалисты ряда европейских стран продолжают всячески поощрять развитие рыболовства на озере, поскольку видят в нем единственную реальную перспективу улучшения уровня жизни местного населения. Поскольку озеро имеет достаточно бурный нрав, рыбная ловля возможна лишь при спокойной погоде.

Благодаря тому, что бассейн озера отличается труднодоступностью, а также здесь наблюдается жаркий и сухой климат, оз. Турхана сумело сохранить свою естественную экосистему. По его берегам и на островах располагается три национальных парка: Сиби-лои, на восточном берегу озера, Национальный Парк Центральный о-в и Национальный Парк о-в Южный. Парки служат местом остановки для мигрирующих птиц и являются местом размножения нильских крокодилов, бегемотов и различных ядовитых змей. Озеро внесено в список Мирового Наследия ЮНЕСКО. В регионе постепенно развивается экотуризм.

Определенную опасность для экосистемы оз. Турхана в последнее время начинает играть выпас скота, приводящий к деградации земель и превращающийся в проблему по берегам озера. В связи с развитием рыболовства усиливается давление на рыбное население, хоть темпы увеличения рыбной ловли пока крайне невысоки. В бассейне р. Омо, протекающей по территории Эфиопии, со второй половины XX в. происходит рост орошаемых площадей. Разбор воды на нужды орошения приводит к уменьшению притока в озеро, оцениваемому (Impacts..., 2009) около 50% от естественного расхода воды. Со снижением притока происходит постепенный рост солености озерной воды, которая за последние 30 лет постепенно превращается из слабо/среднесоленой в щелочную. Увеличение солености озера крайне нежелательно как для проживающих вокруг него народов, так и для его биоресурсов. Предпринятое гидротехническое строительство на притоках вызывает изменения их водного и температурного режима, а также увеличивает количество приносимых в озеро наносов (Impacts..., 2009). Скорость седиментации составляет 1-5 мм/год (Halfman, Johnson, 1988). В результате наблюдающихся изменений происходит постепенная перестройка озерной биоты, начинающаяся с водной растительности и заканчивающаяся рыбным населением. В начале 2002 г. кенийское правительство

объявило о намерении вырубить около 70000 га леса на правительственных землях, в том числе в районе леса Мау, откуда берут начало реки, питающие озеро. В результате вырубки ожидается дальнейшее изменение качества воды и снижение уровня озера.

К положительным изменениям, произошедшим в последние десятилетия, можно причислить возникновение обширных водно-болотных угодий в устье р. Омо, явившихся местобитанием многочисленных представителей животного мира. Плодородные почвы речной долины обеспечивают процветание буйной растительности. Однако, построение дельты, постепенно выклинивающейся на кенийскую территорию, создало дополнительный источник конфликтов между народами, проживающими в эфиопской и кенийской частях бассейна.

Экологические проблемы, все более четко проявляющиеся в последние десятилетия на оз. Турхана и в его бассейне, а также необходимость выработки конструктивной политики экономического развития региона требуют расширения научного знания в области гидрологии озера, его экологии и биоресурсов (Impacts..., 2009). Кроме того, необходимо более четкое представление о жизни и перемещениях племен, обитающих в бассейне озера.

## Глава 2. НА МЕСТЕ ДРЕВНЕЙШИХ МОРЕЙ

Для большинства озер характерно, что их ложе подстилает континентальная земная кора, и лишь у нескольких крупнейших водоемов ложе образовано земной корой океанического типа, прежде всего, к ним относятся Каспийское море и оз. Маракайбо. В отличие от континентальной коры, имеющей трехслойное строение, океаническая кора состоит главным образом из базальтов, кроме того, она имеет относительно молодой возраст (самые древние участки датируются поздней юрой). Толщина океанической коры практически не меняется со временем, поскольку в основном она определяется количеством расплава, выделившегося из материала мантии в зонах срединно-океанических хребтов.

Каспийское море является остатком Паратетиса – потомка древнего моря Тетис, соединявшего 50-60 миллионов лет назад Атлантический и Индийский океаны. В результате сложных тектонических движений море Тетис сначала отделилось от Индийского океана, а затем от Атлантического. Примерно 5-7 млн. лет назад оно распалось на меньшие водоемы, включая Черное и Каспийское моря, которые несколько раз соединялись и разделялись, наконец, около 1.8 млн. лет назад Каспий был окончательно отрезан от мирового океана. Оз. Маракайбо является одним из древнейших озер Земли, его возраст превышает 30 млн. лет. Депрессия, которую оно занимает, образована в Оligocene и с тех пор не меняла своих размеров, однако площадь, занятая водой, по своим размерам варьировала. Основные седиментационные отложения, свидетельствующие о непрерывном чередовании морских, приливных и пресных вод, чередуются с отложениями сухопутного материала.

С некоторыми оговорками в данную главу мы включили также и оз. Никарагуа. Согласно мнению геологов еще в относительно недалеком по геологическим меркам прошлом на его месте был морской залив, однако со временем благодаря тектоническим движениям проход к морю закрылся, и образовалось современное озеро.

### 2.1. КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

Каспийское море, обладающее огромными при-

родными ресурсами, привлекает к себе особое внимание, так как нерациональное использование этих ресурсов, особенно в последнее время, сопровождается негативными явлениями, которые могут привести к опасным для всей экосистемы моря необратимым процессам. Все это накладывается на уникальные природные условия моря и его береговой линии.

Каспийское море является самым большим в мире изолированным бессточным озером, расположенным на стыке Европы и Азии на территории пяти пограничных стран: России, Азербайджана, Исламской республики Иран, Казахстана и Туркменистана. Благодаря своим размерам и солёности воды оно с давних времен считалось морем. Географические координаты крайних точек его акватории – 36° 33' - 47° 07' с.ш. и 46° 43' - 54° 03' в.д. Уровень Каспийского моря в настоящее время колеблется около отметки 27-28 м ниже уровня Мирового океана.

Каспий занимает огромную по площади и глубокую материковую депрессию и является своего рода реликтом, донесшим до наших дней уникальную фауну и флору. Он, хотя и представляет собой континентальный водоем, является остатком древнего океана Тетис, который занимал территорию нынешнего Средиземного, Черного, Азовского, Каспийского, Аральского морей и сообщался на западе с Атлантическим океаном, а на востоке – с Индийским. Из-за океанического происхождения ложе Каспийского моря образовано земной корой океанического типа. Этим можно объяснить солёность его вод. В верхнем миоцене связь Тетис с океанами прерывается и образуется сначала Сарматский бассейн (8-10 млн. лет назад), а затем Понтическое море. Около 6 млн. лет назад Понтическое море – озеро разделилось на Верхнепонтическое, занимавшее только Черноморскую котловину, и полностью изолированное Бабаджанское озеро, занимавшее только Южно-Каспийскую котловину. С этого времени Каспий существует как изолированный бассейн. В четвертичном периоде его уровень испытывал большие колебания, когда три трансгрессии перемежались фазами регрессии. В своей долгой истории Каспийское море несколько раз соединялось с Черным морем через Кумо-Маньчскую впадину. В эти периоды имело место проникновение фауны из Черного моря в Каспий и наоборот. На месте современного Каспия были то солёные, то

опресненные бассейны, сменявшие друг друга: в Сарматском море обитала чисто морская фауна, в Понти-ческом появилась солоноватоводная фауна каспийского типа, которая существует до настоящего времени (Гюль, 1956, Касымов, 1987)

На Каспийское море с давних времен проводятся разносторонние научно-исследовательские работы, поскольку оно является водоемом не только с высокой биологической продуктивностью (в первую очередь рыбной), но и обладает большими запасами полезных ископаемых. В настоящее время Каспий стал одним из наиболее хорошо изученных водоемов, однако интенсивная эксплуатация полезных ископаемых и его загрязнение ставят новые проблемы и задачи, требующие разрешения.

Каспийское море является сложным и специфическим водоемом, обладающим только ему присущими особенностями. По физико-географическим признакам, характеру рельефа, особенностям гидрологического режима оно делится на Северный, Средний и Южный Каспий и обособленный залив Кара-Богаз-Гол (Каспийское море..., 1986). Северный Каспий фактически является обширным эстуарием впадающих в него рек. Из-за цикличности уровня режима Каспийского моря данные по морфометрии Каспийского моря противоречивы. В таблице 2.1 приведены усредненные данные, соответствующие современному уровню (-27 м абс.) (Салманов, 1999). В настоящее время площадь Каспия составляет около 392,6 тыс. км<sup>2</sup>, тогда как в 1929 г. при высоком уровне воды его площадь достигала 422 тыс. км<sup>2</sup>, то есть по площади Каспий был больше Черного и Балтийского морей (Касымов, 1987).

**Таблица 2.1.** Морфометрия Каспийского моря

Часть	Площадь зеркала, тыс. км <sup>2</sup>	Объем воды, тыс. км <sup>3</sup>	Максимальная глубина, м
Северная	104.6	0.49	20
Средняя	138.2	26.75	788
Южная	149.8	51.40	1025
Все море	392.6	78.64	1025

Рельеф берегов Каспийского моря определяется характером орографических элементов суши: на севере – Прикаспийская низменность, на

юге – горная система Эльбрус, на западном побережье к морю близко подходят горы Большого Кавказа с узкой прибрежной равниной, на юго-западе – Куринская и Ленкоранская низменности и предгорья Талышских гор. Восточный берег обрамлен крутыми, невысокими уступами, а на его юге – эоловой равниной с песчаными дюнами. Длина береговой линии Каспия примерно 6500-6700 км. В рельефе дна Каспийского моря четко выделяются три основные формы – шельф, материковый склон и ложе глубоководных впадин (рис. 2.1). Шельф начинается от береговой линии и заканчивается на глубинах около 100 м. Ниже линии шельфа начинается материковый склон, который в Среднем Каспии заканчивается на глубинах 500-600 м, а в Южном на глубинах 700-750 м. В Каспийском море обнаружены две глубоководные впадины – Дербентская (788 м) и Южно-Каспийская (1025 м) (Касымов, 1987).

Из 10 заливов Каспия наибольший интерес представляет залив Кара-Богаз-Гол, который разные народы называли Черным Горлом, Черной пастью, Черным устьем. Площадь его 12-13 тыс. км<sup>2</sup>. Залив соединен с морем узким шириной от 110 до 300 м проливом, длина которого около 8-10,5 км. Уровень Кара-Богаз-Гола на 4 м ниже уровня Каспийского моря. В залив идет постоянный сток из моря, и вода в нем быстро испаряется. Ежегодно в залив до начала 1930-х годов втекало 20-25 км<sup>3</sup> каспийской воды, а в середине XX века из-за падения уровня Каспия только 10-15 км<sup>3</sup>. Вместе с этой водой выносятся около 130-150 млн. т. солей, что в 10 раз больше, чем их получает Каспий (Зонн, 1999). Залив Кара-Богаз-Гол является естественным опреснителем Каспийского моря. Испаряемость с его поверхности очень велика – 1500 мм/год. Это единственный в мире самосадочный бассейн солей морского типа (мирабилит, галит, астраханит). В 1980 г., чтобы замедлить падение уровня Каспия, залив был отделен глухой дамбой и за три года почти весь высох, превратившись в гигантскую соляную впадину. Соль стала разноситься ветрами, засоляя окружающую среду и почву. В 1984 г. было построено водопропускное сооружение с годовым расходом воды 1,5 км<sup>3</sup> для ослабления негативного влияния на окружающую среду и восстановления добычи минеральных солей. В 1992 г. из-за начавшегося повышения уровня Каспия дамба была ликвидирована, и к настоящему времени залив полностью восстановился.

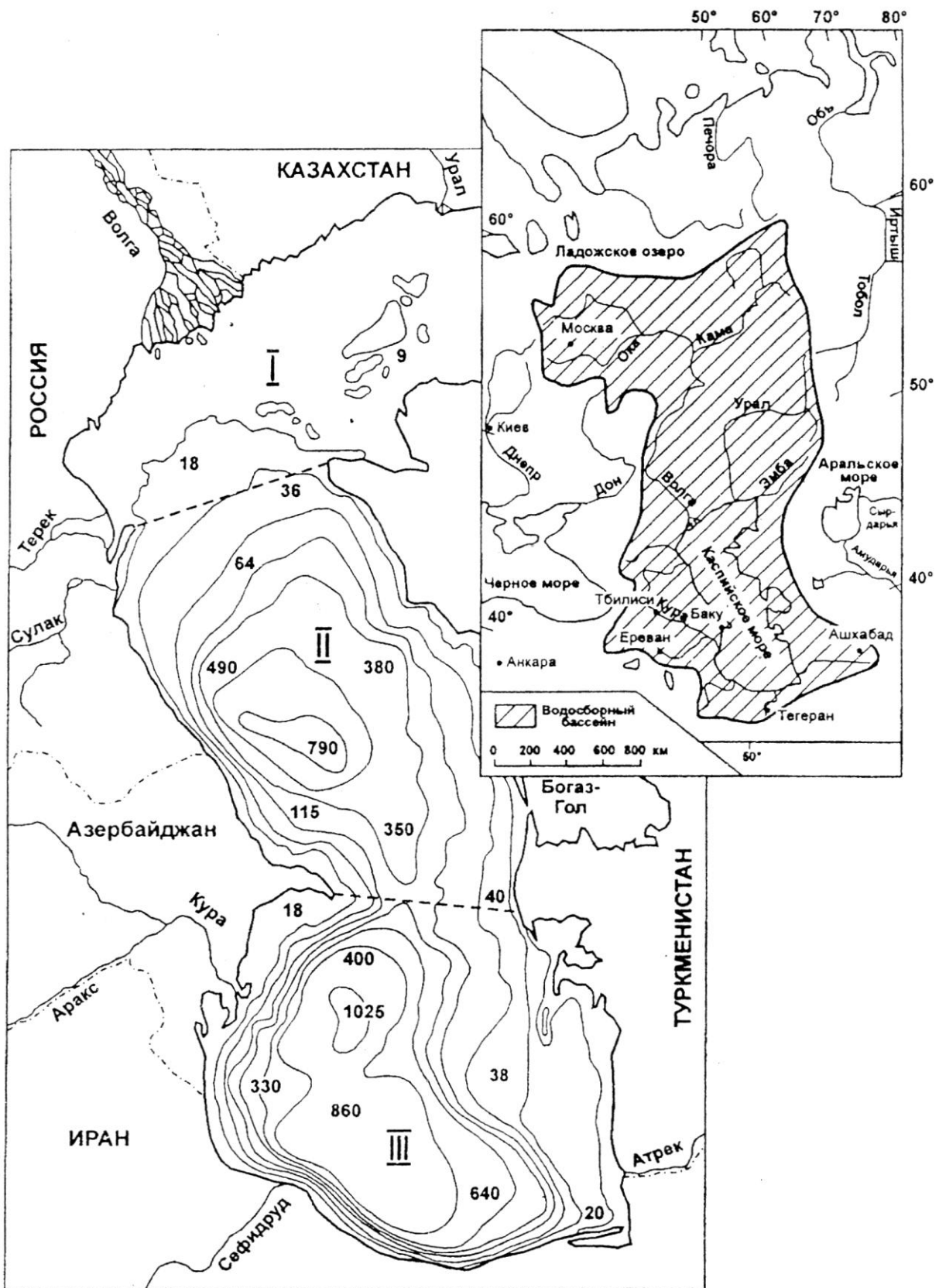
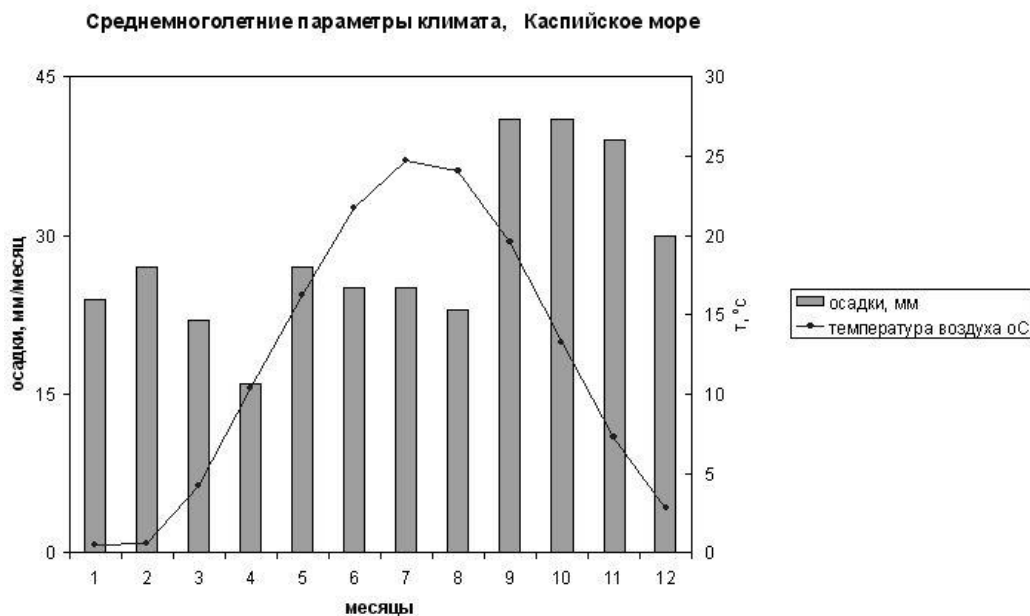


Рис.2.1. Каспийское море и его бассейн. Регионы: I – Северный Каспий; II – Средний Каспий; III – Южный Каспий; « - - » – границы между регионами Каспия. Источник: Зонн, 1999.



**Рис. 2.2.** Среднемесячные параметры температуры воздуха и осадков, ст. Махачкала.

***В чем же состоит уникальность Каспийского моря?***

Прежде всего, Каспий уникален по своим климатическим особенностям. Каспийское море расположено в пределах разных климатических зон и подвергается воздействию различных барических центров и систем атмосферной циркуляции. Большая часть Каспийского моря расположена в умеренном климатическом поясе. Континентальность климата выше в северных и восточных частях Каспия по сравнению с западными и южными его частями, где наиболее выражены морские черты климата. В зимний период среднемесячная температура воздуха изменяется от  $-8 - -10^{\circ}\text{C}$  в северной части до  $+8 - +10^{\circ}\text{C}$  в южной части, в летний период от  $+24 - +25^{\circ}\text{C}$  в северной части (рис. 2.2) до  $+26 - +27^{\circ}\text{C}$  в южной. Максимальная температура зафиксирована на восточном побережье -  $+44^{\circ}\text{C}$ . Температура воды Каспийского моря зимой на юге до  $+13^{\circ}\text{C}$ , на севере – ниже нуля, летом повышается по всей акватории моря до  $+25 - +30^{\circ}\text{C}$ . В мелких заливах температура воды может достигать  $+35 - +40^{\circ}\text{C}$ . На глубине ниже 400-500 м поддерживается постоянная температура –  $4.5 - 6^{\circ}\text{C}$ . В мелководном Северном Каспии нет температурной стратификации.

Каспийское море относится к частично замерзающим водоемам. Зимой замерзает только Северный Каспий. Ледостав продолжается с

ноября по март, толщина льда при этом составляет 60-90 см. В аномально теплые зимы ледовый покров в Северном Каспии может практически полностью отсутствовать (Болгов и др., 2007, Каспийское море..., 1986).

В Среднем Каспии господствует циклональная циркуляция вод, обусловленная главным образом речным стоком и господствующими ветрами. В Южном Каспии также наблюдается циклональная циркуляция, но менее четко выраженная. В Северном Каспии преобладают неустойчивые ветровые течения различных направлений. Частая повторяемость умеренных и сильных ветров обуславливает большое число дней со значительным волнением.

Одной из важнейших проблем Каспийского моря является значительное колебание его уровня. Эта проблема издавна привлекала к себе внимание исследователей, искавших причины этого таинственного явления. Уровень Каспийского моря часто менялся в течение его многовековой истории. Поскольку Каспий отделен от Мирового океана, его уровень оказывается очень чувствительным к изменению климатических условий в бассейне. На берегах Каспийского моря сохранились памятники, доказывающие, что его уровень подвергался систематическим колебаниям (Касымов, 1987). Значительные периодические колебания уровня с максимальной амплитудой до 25 м отмечались за последние 10 тыс. лет и с ампли-



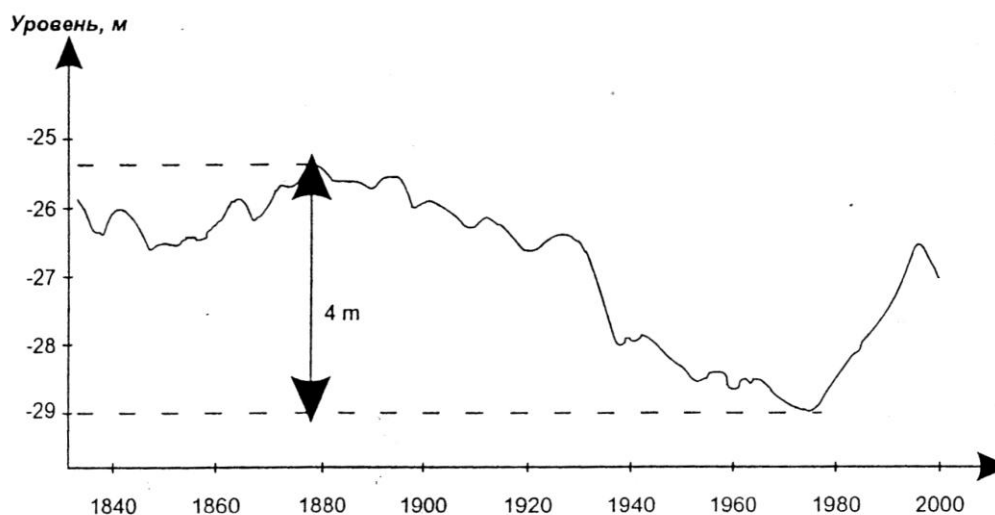


Рис. 2.3. Колебания уровня Каспийского моря. Источник: Салманов, 1999.

тудой до 15 м за последние 2.5 тыс лет в диапазоне абсолютных отметок (-20)- (-35) м. За период инструментальных наблюдений с 1830 г. по настоящее время амплитуда колебаний уровня моря составляла 3.8 м, наиболее высокое стояние было зарегистрировано в 1882 г. – (- 25.2) м, наиболее низкое - в 1977 г. – (-29.0) м (рис. 2.3). В 1995 г. среднегодовой уровень был равен – 26.5 м, а с 1997 г. колеблется около отметки -27 м (Болгов и др., 2007). В настоящее время многочисленными исследованиями показано, что главной причиной межгодовых колебаний уровня Каспия является изменение климатических факторов (осадки, сток, испарение). Однако нельзя недооценивать причины геологического порядка, в частности понижение дна моря и в первую очередь Южного Каспия (Гюль и др., 1971). В последние годы резко возросла роль антропогенных факторов, в первую очередь безвозвратное изъятие речного стока.

В Каспийское море впадает 130 рек, из них 9 имеют устье дельтового типа. Наиболее крупные реки – Волга, Терек, Сулак, Урал, Кура, Эльба, Самур, Атрек и Сефидруд. Водосбора Каспия занимает огромную территорию - около 3.5 млн. км<sup>2</sup>. Решающее значение в приходной части водного баланса моря имеет р. Волга, которая обеспечивает в среднем около 80 % всего речного стока, что составляет 251-254 км<sup>3</sup> в год. Размах колебаний годового стока за период инструментальных наблюдений с 1881 г. составлял 200 км<sup>3</sup>. Площадь бассейна Волги равняется почти трети европейской

части России и является важнейшим в экономическом отношении регионом страны. Здесь производится 48% валового регионального продукта, 45%- промышленной и 36% - сельскохозяйственной продукции, 31% электроэнергии страны, что определяет высокую степень антропогенной нагрузки. Безвозвратное водопотребление на водосборе р. Волги в современных условиях с учетом потерь на испарение с поверхности водо-хранилищ оценивается в 16 км<sup>3</sup>, что составляет около 6% нормы ее годового стока (Зонн, 1999, Болгов и др., 2007). Другие реки также достаточно интенсивно подвергаются антропо-генному воздействию. Сток грунтовых и под-земных вод в Каспий невелик. Приходная часть водного баланса почти полностью уравнивается испарением, в 5 раз превышающим величину осадков, при этом сток в Кара-Богаз-Гол составляет лишь 5%.

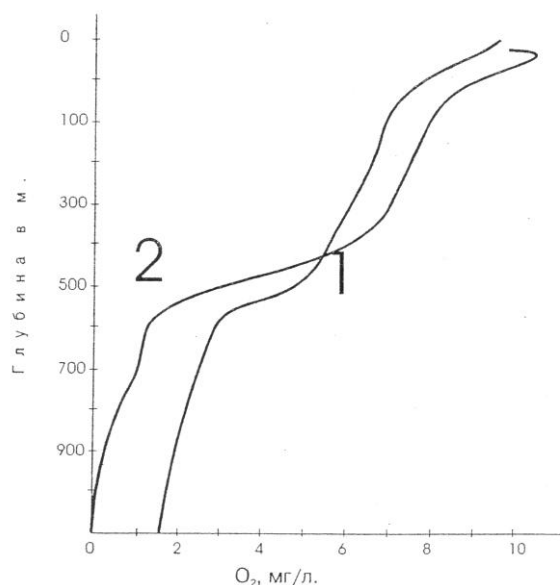
Значительный интерес к проблеме изменения уровня Каспийского моря определяется огромным ущербом экономике всех стран каспийского региона, вызываемым этим явлением. Понижение уровня вызывает обмеление подходов к портам, усложняет условия судоходства, отрицательно влияет на рыбопродуктивность. Последний быстрый подъем уровня Каспия также нанес значительный ущерб. В зоне затопления и подтопления оказались значительные территории, особенно в равнинной части Дагестана, Калмыкии и Астраханской области, пострадали многие города (Дербент, Махачкала, Каспийск). Были затоплены сельскохозяйственные угодья, разрушены дороги и

линии электропередач. В море попало большое количество загрязняющих веществ, особенно с объектов добычи нефти и ее транспортировки, усилились абразионные процессы в береговой зоне. В последние годы стал ощущаться ущерб флоре и фауне взморья и прибрежной зоны дельты Волги. С другой стороны, подъем уровня улучшил условия нагула рыб, увеличил площади нерестилищ.

Несмотря на то, что Каспий является замкнутым глубоким водоемом, его воды хорошо аэрированы. Высокое насыщение воды кислородом, особенно в глубинных слоях, происходит за счет плотностного перемешивания. Зимой наиболее высокое содержание кислорода отмечено в водной толще Среднего Каспия, где, благодаря повышению плотности вод, происходит интенсивное перемешивание водных масс и улучшается вентиляция глубинных слоев. В Южном Каспии этот процесс выражен слабее. По вертикали кислород в Среднем и Южном Каспии распределяется аналогично: максимум в трофогенном слое, постепенное уменьшение и минимум – у дна. За последние годы отмечается некоторое увеличение концентрации кислорода в верхних слоях и уменьшение в глубинных вплоть до его полного исчезновения в Южном Каспии (рис. 2.4). В Северном Каспии кислородный режим формируется в условиях активного фотосинтеза и максимального прогрева воды, поэтому иногда здесь также появляется дефицит кислорода. Воды Каспийского моря имеют высокую прозрачность. В Южном Каспии она достигает 15-20 м, в Среднем – около 10 м и только в Северном из-за мелководности выносимых реками взвесей прозрачность не превышает 1 м, только на значительном удалении от дельты она составляет 7-8 м.

Каспийское море является водоемом с относительно невысокой соленостью вод. Каспийская вода отличается от океанической и черноморской по соотношению отдельных солей и их суммарному значению. Воды Каспия относительно бедны ионами натрия и хлора и богаты ионами кальция и сульфатами. Средняя соленость вод в открытой части моря составляет 12.80-12.85 ‰, при колебаниях от 3 в устьевой части Волги до 20.3 ‰ в Балханском заливе (Касымов, 1987). Соленость воды залива Кара-Богаз-Гол достигает 350 ‰. В самом Каспии она возрастает с севера на юг и с запада на восток, что связано с опреснением и испарением. В Северном Каспии за последние годы

соленость уменьшилась в среднем на 0.3 ‰, а в остальных частях моря ее снижение не превышало 0.1 ‰ (Катунин, 1992).



**Рис. 2.4.** Вертикальное распределение кислорода в воде Южного Каспия зимой: 1 – 1972 г.; 2 – 1995 г. Источник: Салманов, 1999.

Еще одной уникальной особенностью Каспийского моря является то, что во все времена оно отличалось чрезвычайно высокой биологической продуктивностью. Рыбные богатства Каспия – итог своеобразного сочетания условий, определяющих высокий уровень его биологической продуктивности и уникального состава ихтиофауны (Салманов, 1999).

#### **Особенности растительного и животного мира**

Несмотря на высокую биологическую продуктивность Каспийского моря, биоразнообразие в нем в 2.5 раза беднее, чем в Черном море, в 5 раз беднее, чем в Баренцевом море (Зенкевич, 1963). Для настоящей пресноводной фауны и флоры соленость слишком высока, а для настоящих морских видов – низкая. Современное биоразнообразие Каспия отражает сложную историю палеокаспийских трансгрессий и регрессий и связанных с ними опреснений и осолонений, что создало общий высокий уровень эндемизма (приблизительно 42-46%).

Видовой состав фитопланктона Каспийского моря также беднее, чем Черного моря, соответственно 449 и 750 видов (Салманов, 1999). По видовому составу водорослей, который достаточно неустойчив в Каспии, диа-

томовые занимают первое место – 163 таксона, далее следуют зеленые – 139, синезеленые – 84, пиропитовые – 39 и прочие. Проникшая в Каспий из Азово-Черноморского бассейна и впервые отмеченная в Северном Каспии в 1934 г., диатомовая водоросль *Rhizosolenia calcaravis* в настоящее время встречается в значительном количестве по всему морю. В зависимости от сезона она может составлять 94-97 % всей биомассы фитопланктона. После открытия Волго-Донского канала здесь появились и другие виды водорослей, обитающие в Азовском и Черном морях. Численность и биомасса Каспийского моря как по годам, так и по районам варьирует в больших пределах и зависит от речных стоков, биогенной обеспеченности районов и других экологических факторов. Средние величины общей биомассы фитопланктона в Северном Каспии составляли в разные годы 4.0-6.4 г/м<sup>3</sup>. В Среднем и Южном Каспии в отдельные годы биомасса фитопланктона достигала соответственно 16.4 и 9.4 г/м<sup>3</sup> (Салманов, 1999). В целом по Каспию как по численности, так и по биомассе преобладали два вида водорослей – пиропитовая *Exuviaella cordata* и диатомовая *Rhizosolenia calcaravis*. Первая является аборигенным видом, вторая – вселенцем. Эти два вида играют главную роль в продуктивности Каспийского моря и в частности в питании беспозвоночных животных.

Среди представителей зоопланктона инфузории представлены наибольшим числом видов – 135, значительное развитие которых наблюдается в Среднем и Южном Каспии, а в Северном – качественный и количественный состав инфузорий значительно уступает остальным районам Каспия. Веслоногие рачки в планктоне Каспийского моря представлены 41 видом, из них 21 вид – коренные каспийские виды (автохтоны), а 5 (*Eurytemora minor*, *Halicyclops sarsi*, *ectinosoma concinnum*, *Schzopera akatovae*, *Smirnoviella unisetosa*) являются эндемиками, то есть обитающими только в Каспии. Ведущее положение занимает лимнокалянус, который дает не менее половины биомассы зоопланктона Среднего и Южного Каспия. В планктоне Северного Каспия, кроме каспийских видов, встречаются пресноводные из подотряда Cyclopoidea и Harpacticoida, которые достигают большого развития в предустьевых участках Волги и Урала. Ветвистоусые рачки представлены 55 видами. Особым разнообразием отличается группа из трех близких семейств –

полифемид, подонид и церкопагид. Кроме *Podon polyphemoides*, который появился в Каспии в 1957 г. после открытия Волго-Балтийского канала, все виды этих семейств являются эндемиками. В Северном Каспии из ветвистоусых наибольшее развитие, особенно в предустьевом участке Волги, имеют виды семейств Sididae, Daphnidae, Bosminidae, Chydoridae. Количественное развитие зоопланктона на разных участках Каспия неодинаково. В Северном Каспии около устья Урала биомасса зоопланктона достигала 2.0 г/м<sup>3</sup>, а в его западной части – 0.5-1.0 г/м<sup>3</sup>, средняя летняя биомасса составляла 0.48 г/м<sup>3</sup>. В Среднем Каспии она колебалась в пределах 0.07-0.5 г/м<sup>3</sup> и только в устьях рек Сулак и Самур достигала 0.8-1.05 г/м<sup>3</sup>. В Южном Каспии летом максимальная биомасса зоопланктона не превышала 0.2 г/м (Касымов, 1987).

Зообентос Каспийского моря представлен 379 видами. Наибольшее число видов относится к фораминиферам, турбелляриям, нематодам, ракушковым ракообразным, мизидам, кумовым ракам, бокоплавам, двустворчатым и брюхоногим моллюскам. Характерной особенностью донной фауны является ее высокий эндемизм и преобладание видов коренного каспийского комплекса. К ним относятся моллюски *Dreissena* spp., *Pyrquula* spp., аборигенные полихеты, кумовые раки и др. Ряд средиземноморских видов проник самостоятельно или был вселен человеком: моллюски митилястер, nereis, церастодерма, синдосмия, креветки, баланус и др. В периоды опреснения в Каспий проникли пресноводные виды, а в позднеледниковое время из северных морей вселился ряд арктических видов. По биомассе зообентоса наиболее продуктивными районами моря можно считать Средний и Южный Каспий, здесь средняя биомасса соответственно составляла 66 и 121 г/м. В Северном Каспии эта величина не превышала 29 г/м, однако в этом районе кормовой бентос более полно используется, так как практически все рыбы кормятся в этом районе (Касымов, 1987).

Во все исторические времена Каспийское море было самым богатым по запасам рыбного населения и уникальным источником ценнейших пород рыб. Видовой состав каспийской ихтиофауны не отличается разнообразием. По числу видов рыб Каспийское море заметно уступает другим внутренним морям. Если в Азовском, Черном и Средиземном морях насчитывается соответственно 79, 180 и 540

видов, то в Каспии – всего 62 (без речных видов). Ограниченное число видов каспийской ихтиофауны в заметной степени компенсируется ее количественным развитием. По числу видов преобладают сельдевые, карповые и бычковые, составляющие более 70% всей каспийской ихтиофауны (Касымов, 1987). Наибольшее количество эндемичных видов и подвидов отмечается среди сельдевых и бычковых, которые сформировались в период существования слабоосолененного Понтийского озера - моря 5-7 млн. лет назад и имеют морское происхождение (Зенкевич, 1973). Другие виды имеют пресноводное происхождение: осетровые, лососевые, карповые, окуневые, щука и др., большинство которых обитают в реках и в предустьевых участках моря. Только осетровые распространены по всему морю, а для размножения заходят в реки. К настоящим морским рыбам относятся атерина, игла-рыба, кефаль, которые являются азово-черноморскими вселенцами. Каспийское море является источником ценнейших пород рыбы, которые являются не только национальным, но и мировым достижением. Это в первую очередь осетровые виды – русский осетр, севрюга, белуга, стерлядь, лососевые – белорыбица, каспийский лосось, частиковые – сазан, лещ, вобла, сом, а также сельдь. Три коммерческих наиболее значимых вида осетровых (русский осетр, белуга и севрюга) составляют 90% всего вылова в мире. Ценность осетрового стада иногда ставят выше ценности нефти, тонна черной икры значительно дороже тонны нефти. Тем не менее, в результате начавшихся с 1950-х годов гидротехнического строительства, развития гидроэнергетики, а позже добычи нефти и развития нефтехимического производства и, в след за этим, загрязнение моря, рыбное хозяйство значительно пострадало (табл. 2.2).

**Таблица 2.2.** Уловы осетровых в Прикаспийских станах, т. (цит. по Зонов, 1999)

	1984	1988	1991	1994
Мир в целом	26538	21291	15126	13562
СССР	24245	19027	-	-
Иран	1557	1851	3036	1700
Азербайджан	-	-	108	95
Россия	-	-	9536	4460
Казахстан	-	-	1766	635

После распада СССР к этим негативным явлениям добавился браконьерский лов рыбы, осо-

бенно осетровых (Зонн, 1999). В настоящее время одной из приоритетных задач является сохранение и улучшение условий для воспроизводства ценных биоресурсов, которые в отличие от других ресурсов являются возобновляемыми.

Из морских млекопитающих в Каспийском море обитает эндемичный каспийский тюлень *Phoca caspica*.

### **Биологическая продуктивность и антропогенное эвтрофирование Каспия**

Каспийское море является одним из наиболее высокопродуктивных морей планеты. Годовая продукция фитопланктона в Каспии в среднем составляет 175 млн. т С или 467 г С/м<sup>2</sup>. Как правило, в зависимости от особенностей отдельных участков эта величина колеблется от 390 до 829 г С/м<sup>2</sup> год, причем в самых продуктивных районах – в прикуринском районе (Южный Каспий) и акватории главных рукавов Волги – эта величина достигает 800-1000 г С/м<sup>2</sup> год (Салманов, 1999). Средняя продукция фитопланктона в Каспии превышает таковую в Черном море почти в 4-5 раз, в Азовском - в 2-3 раза, в Аральском – в 9-10 раз, в эвтрофных участках Балтийского моря в районе г. Хельсинки - в 3-4 раза. Многолетние исследования показали, что наиболее заметное увеличение величины продукции фитопланктона началось в первой половине 1960-х годов в северо-восточном и северо-западном участках Северного Каспия в связи с поступлением биогенных элементов со стоком Волги, до этого времени этот процесс сдерживался строительством каскада водохранилищ на Волге и других крупных реках. Было зафиксировано начало антропогенного эвтрофирования моря, и уже к началу 1990 г «цветение» воды расширилось и достигло глубоководного Южного Каспия. За период с 1960 до 1990 гг. сток минерального фосфора р. Волги возрос с 1.6 до 14.1 тыс. т, органического фосфора – с 14.3 до 28.4 тыс. т, минерального азота – с 60.3 до 182.0 тыс. т, органического азота – с 140.4 до 380.4 тыс. т (Салманов, 1999). Что касается годовой первичной продукции, то по данным М.А. Салманова (1999), она возросла в среднем по Каспию от 114700 тыс.т С в 1971 г. до 175 000 тыс. т С в 1988 г. Однако загрязнение моря в некоторых районах привело к сокращению продукции фитопланктона в мелководных зонах, где происходит нагул рыбного населения. За период 1966-1988 гг. общее коли-

чество бактерий в Северном Каспии в среднем возросло на 3-3.5 млн. кл./мл, а в Среднем – на 5.9 млн.кл./мл. Все это указывает на то, что в море прогрессирует антропогенное эвтрофирование. Изменился его трофический статус, более 60% акватории моря по величине первичной продукции и численности микрофлоры относится к категории эвтрофных. Это отразилось, как было уже сказано, на кислородном режиме придонных слоев воды: в летне-осенний период 1988 г. в Северном Каспии дефицит кислорода в придонных слоях сохранялся с июня до первой половины октября.

Достаточно высокие величины деструкции органического вещества и численности бактериального сообщества указывают на пока еще достаточно высокую самоочистительную способность моря, но она приближается к своему пределу, после чего она может резко снизиться (Салманов, 1999).

### **Загрязнение Каспийского моря**

Экономика Каспийского моря связана с добычей нефти и газа, судоходством, рыболовством, добычей морепродуктов, а также различных солей и минералов (залив Кара-Богаз-Гол). В настоящее время основным ресурсом региона являются нефтегазоносные месторождения. Наряду с уже разрабатываемыми, разведано около трех десятков месторождений в береговой зоне всех прикаспийских государств и непосредственно в море. По запасам нефти Прикаспийский регион занимает одно из первых мест в мире, запасы оцениваются не менее чем в 15-20 млрд. т (газа около 6 млрд м<sup>3</sup>), но учитывая слабую изученность региона, запасы могут оказаться существенно большими. Добыча нефти производится пока в очень небольших объемах – менее 20 млн. т в год, в том числе около половины – непосредственно с морских месторождений. Уже сегодня добыча нефти на Каспии составляет 2.3 % от мировой. Разведанные только в последнее время в северной части побережья моря запасы нефти и газа превышают многие крупнейшие в недавнем прошлом месторождения России и Средней Азии (Болгов и др., 2007).

История добычи нефти на Каспии началась в 1848 г., когда была впервые пробурена нефтяная скважина в Азербайджане. С 1870-х годов началось коммерческое производство нефти в Азербайджане. К началу XX века уже перерабатывалось 11.5 млн т нефти в год. К

1975 г. две трети азербайджанской нефти было получено с шельфовых месторождений. До 1960-х годов Казахстан, Туркменистан и Россия ориентировались на сухопутную добычу нефти. В 1961-1965 гг. началась добыча туркменской нефти с шельфа моря. Если в XIX и начале XX века основная добыча нефти приходилась на Азербайджан, то к 1990-м годам и другие страны начали интенсивную добычу (табл. 2.3).

**Таблица 2.3.** Добыча нефти Прикаспийскими странами, тыс. баррелей в день. Источник: Зонн, 1999.

Страна	1990	1995	1996
Азербайджан	259.3	180.0	198.7
Казахстан	602.1	410.0	532.1
Туркменистан	1243.8	90.0	103.9
Иран	0	46.0	0
Россия	62.0	61.6	52.0
Всего	1048.2	787.6	886.7

Развитие добычи и транспортировки нефти уже в конце XIX века способствовало загрязнению Каспия сначала с суши, когда первые промышленные и нефтеперегонные заводы начали сбрасывать в Бакинскую бухту стоки, содержащие нефть и высокотоксичные отходы ее переработки. Особенно были загрязнены районы Апшеронского полуострова, Челекена и полуострова Мангышлаг. С 1980-х годов загрязнение распространилось повсеместно. По расчетам, с момента открытия нефти в море поступило более 2.5 млн т сырой нефти (Салманов, 1999). Средняя концентрация нефтяных углеводородов превышает норму для рыбохозяйственных водоемов в 1.5-2 раза. Наибольшая степень нефтяного загрязнения характерна для юго-западной части Среднего и северо-западной части Южного Каспия. Серьезным источником загрязнения этого района является Бакинская бухта и Сумгаитское взморье, где уровень содержания нефтепродуктов в воде периодически достигает 40 ПДК. Эти районы почти полностью потеряли рыбохозяйственное значение (Зонн, 1999). Бакинская бухта – это настоящая кладовая нефтепродуктов. Грунт здесь насыщен нефтью до глубины 3.5-5.7 м, поверхностный слой грунта (20-25 см) на 67% общего веса состоит из нефтепродуктов. Значительным источником загрязнений служат также сбрасываемые воды судов ряда крупных каспийских портов (Баку, Махачкала, Туркменбаши и др. ).

В изменении экологической ситуации Каспийского моря существенное значение имеет хи-

миическое загрязнение. В списке ядохимикатов, поступающих в Каспий, отмечается свыше 150 веществ. Свою лепту в загрязнение вносят нефтехимические, металлургические комбинаты, уранообогатительные объединения Туркменистана, Казахстана.

В загрязнении Каспийского моря, особенно Северного Каспия, речной сток является основным носителем загрязняющих веществ. Особое место занимает Волжская речная система, обеспечивающая 80% стока воды в Каспийское море. Техногенное воздействие на природную среду водосборного бассейна превратило Волгу в Главный коллектор сточных вод России. Около 85% нефти и фенолов, около 80% СПАВ, основная масса тяжелых металлов и ДДТ привносятся в Каспий Волгой, Уралом, Тереком и Курой. Всего в Каспий за 1978-1991 гг. поступало (в тыс. т): нефтепродуктов – более 100, фенолов до 1, СПАВ – более 3, меди и цинка – 9. Кроме того, поступили другие тяжелые металлы, пестициды, различные кислоты. Недаром в 1992 г. бассейн Волги и прибрежные территории Каспия были названы «зонами экологической катастрофы» (Зонн, 1999).

Остановить загрязнение Каспийского моря чрезвычайно сложно и не только из-за политических и экологических разногласий Прикаспийских стран, но и из-за высокой плотности населения в этом регионе и высокого уровня развития промышленности. Здесь сосредоточено около 200 крупных городов (таких как Астрахань, Махачкала, Баку, Туркменбаши и других) с более чем 220 источниками промышленных загрязнений. Общая численность населения, проживающего на побережье, составляет около 10 млн. человек. Наверное, трудно найти на планете другой водоем, который бы подвергался такой жесточайшей антропогенной нагрузке.

### ***Основные проблемы Каспия***

Совокупность многих негативных факторов привела к неустойчивому развитию и даже в ряде районов потере способности к самоочищению Каспийского природного комплекса, поэтому экологические проблемы вышли на первый план для понимания и решения этого процесса. Однако, эти проблемы в настоящее время невозможно решить без урегулирования социально-экономических и геополитических отношений Прикаспийских государств.

Экологические проблемы Каспийского моря связаны с его физико-географическими условиями, основными из которых являются замкнутость водоема и большой объем поступающего речного стока. Антропогенная нагрузка на экосистему Каспия происходит на фоне многообразных природных процессов. В первую очередь это изменение уровня моря, а также морфолитодинамические процессы в прибрежной зоне, сейсмическая активность, неотектонические сдвиги и др. (Глазовский, Зонн, 2006). Нефтехимическое загрязнение – самое распространенное и наиболее опасное для Каспия. История нефтяного освоения Каспия одновременно является историей его загрязнения. Воздействие нефтегазодобывающего производства не наземные и морские экосистемы и их биоресурсы имеет комплексный характер. Добывающие нефтяные платформы на шельфе становятся источником разностороннего загрязнения пластовыми водами, буровыми шламами и растворами с высоким содержанием нефтепродуктов, тяжелых металлов, радионуклидов и др. Влияние сбросов и сливов при нормальном режиме буровых работ может распространяться в радиусе 3-12 км от места бурения, хотя нельзя не учитывать и масштабные аварии, которые происходят довольно регулярно. Локальные сильные загрязнения, а также превышение ПДК по углеводородам в 1.5-2 раза в целом по Каспию уже начали негативно сказываться на его биоте. Были зарегистрированы гибель 30 тыс. водоплавающих птиц в районе заповедного острова Гель в 1998 г., более 40 тыс. тюленей – в 2000 г., замор нескольких тысяч тонн кильки в Среднем и Южном Каспии в 2001 г.

Последствием процесса загрязнения Каспийского моря является и заболевание осетровых – миопатия, а именно расслоение мышц и ослабление оболочки икры, которое приобрело массовый характер в 1990-х годах. Различные физиологические и биохимические аномалии отмечены у 60% осетровых, в 1988 г. от этого заболевания на Нижней Волге погибло 8.5 тыс. голов производителей осетровых. Кроме того, у многих гидробионтов присутствуют разнообразные паразиты, опасные для здоровья людей (Салманов, 1999). Еще одной причиной сокращения запасов осетровых является крупномасштабное браконьерство, при этом в море интенсивно подвергается вылову идущая на нерест популяции осетровых. Хищнический



лов осетровых привел к невозможности обеспечить рыболовные заводы нужным количеством производителей, необходимых для их искусственного воспроизводства. Проблема рационального использования осетровых Каспия превратилась в проблему сохранения и воспроизводства их запасов и видового состава. В 1990 гг. их численность, промысловые запасы и объем вылова значительно уменьшился (табл. 2.2).

Основным поставщиком загрязняющих веществ - нефти и фенолов (самых распространенных загрязнителей Каспия), а также СПАВ, тяжелых металлов, хлорорганических соединений и др. является речной сток. Важнейшая экологическая функция речного стока, влияющая на состояние морской экосистемы – биогенный и органический сток, увеличение которого приводит к антропогенному эвтрофированию Каспия, причем в Северном Каспии ему подвержено почти 60% площади, что сопровождается формированием дефицита кислорода в придонных слоях. В последнее время на Каспии отмечается рост загрязнения тяжелыми металлами, основная масса которых также поступает с речным стоком. Высокое содержание тяжелых металлов отмечается в местах сброса промышленных сточных вод.

Угрозу биоразнообразию Каспийской экосистемы в последние годы наносят стихийные вселенцы, занесенные в Каспий из Азово-Черноморского бассейна по Волго-Донскому судоходному каналу с балластными водами танкеров. В середине 1990-х гг. около туркменского и азербайджанского побережья были обнаружены медуза *Aurelia aurita*, планктонный рачок *Penilia avirostris* и гребнивик *Mnemiopsis leidyi*. Наиболее опасным вселенцем является гребнивик мнемипсис, который не имея в каспийской экосистеме естественных врагов занял в пищевой цепи место планктоноядных рыб. Поедая пригодный на корм рыбе зоопланктон, он лишает кильку кормовой базы, что приводит к ее гибели. К началу 2001 г. уловы кильки сократились в 3-4 раза. Последствия этого могут быть катастрофическими, поскольку килька является важным компонентом, связанным с питанием осетровых рыб. Каспийский тюлень также питается преимущественно килькой, и ее исчезновение может привести к резкому сокращению или даже к полному вымиранию на Каспии этого

животного (Аладин, Плотников, 2000, Глазовский, Зонн, 2006).

Разработка путей решения экологических проблем часто вызывает политические трения среди Прикаспийских государств. К геополитическим проблемам Каспийского региона, прежде всего, относятся определение международно-правового статуса в сфере природоохраны, недропользования, географии углеводородных поставок, маршруты их транспортировки, а также география транспортных коридоров. Для стран Каспийского региона (кроме России и Ирана) углеводороды играют огромную роль в стратегии экономического развития. Удельный вес топливно-энергетического комплекса в общем промышленном производстве составляет в Азербайджане 73% (в 1991 г. - 16%), в Казахстане - 42% (в 1991 г. - 13%), в Туркменистане – 37% (в 1991 г. - 34%). Усиление промышленного развития превращает вопрос о предельно допустимом уровне антропогенной нагрузки на экосистему Каспия в ключевую проблему экологической стратегии государств региона. Однако до сих пор не подписаны соглашения о сохранении и использовании биоресурсов Каспия, хотя все страны понимают необходимость такого соглашения, возникают разногласия по вопросам эксплуатации этих биоресурсов.

Каспийское море в настоящий период с трудом справляется с антропогенной нагрузкой и дальнейшее ее увеличение грозит большой опасностью для сохранения его биоресурсов. Экологическое благополучие Каспия зависит от выполнения общих, согласованных между всеми Прикаспийскими странами, мероприятий, совместного контроля и заботы об экологической ситуации в море.

## 2.2. ОЗЕРО МАРАКАЙБО

Озеро Маракайбо – крупнейшее озеро Южной Америки, расположенное на западе Венесуэлы (рис. 2.5). Площадь его водного зеркала составляет около 12000 км<sup>2</sup>, объем заключенной воды - 245 км<sup>3</sup>. Озеро имеет уплощенное дно со средней глубиной - 26 м и максимальной глубиной - 34 м (Laval et al. 2005; Parra-Pardi 1983). Площадь водосбора около 89000 км<sup>2</sup>. Координаты озера: 9°00'-10°58'с.ш.; 71°01'-72°06'з.д., урез воды находится на уровне моря.

Оз. Маракайбо одно из наиболее древних озер на Земле, его возраст оценивается в 36 млн. лет.

Оно расположено в синклинальном бассейне и с трех сторон окружено горами. Депрессия, которую занимает озеро, образована в Оligоцене и не меняла с тех пор своих размеров, однако площадь, занятая водой, по своим размерам варьировала. Основные седиментационные отложения, свидетельствующие о непрерывном чередовании морских, приливных и пресных вод, чередуются с отложениями сухопутного материала (Sarmiento et al., 1962, Escalona et al., 2003).



Рис. 2.5. Озеро Маракайбо. Источник: <http://www.worldatlas.com>

Озеро соленое, соединенное с Венесуэльским заливом и, через него, с Карибским морем мелким проливом Маракайбо и заливом Табласо. Зал. Табласо является мелководным заливом, прилегающим к барьерному бару и островам, и пересечен углубленным каналом. Длина залива 40 км при ширине 5-7 км и глубине 15 м. Топография пролива, соединяющего оз. Маракайбо с Венесуэльским заливом свидетельствует о том, что в недавнем времени озеро находилось выше уровня моря, и что его вода была пресной. Углубленное корыто вдоль западной части пролива представляет собой остаток русла реки, которая ранее дренировала озеро. Для погружения пролива до его современного уровня потребовалось увеличение уровня моря на 15 м, что и произошло за последние 8000 лет.

### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Первые поселения на оз. Маракайбо были построены индейцами гаджиро, говорящими на арауканском языке. Европейцами озеро было открыто в 1499 г. Прибывший в Южную Америку на флотилии Америко Виспутчи, Алонса де Охеда, обнаружив озеро, дал местности название Венесуэла - «Маленькая Венеция», которое стало названием страны. В 1525 году император Карл V в уплату за долг в 12 бочек золота передал на 30 лет право управления Венесуэлой немецким банкирам Вельзерам. Присланный банкирами губернатор в 1529 г. основал на северо-западном берегу озера порт Маракайбо. В последующие четыре столетия город Маракайбо мало изменялся, пока в начале XX в. в регионе не были обнаружены колоссальные месторождения нефти. Месторождения начали эксплуатироваться с 1914 г., первые скважины были пробурены компанией Bataafsche Petroleum Me. Быстро развивающаяся нефтедобыча привела к стремительному развитию региона. На месте небольших деревень, разбросанных по побережью озера, возникли поселки нефтяников, развившиеся со временем в города Роса, Кабимас, Лагунильяс, Ла-Салина. Их инфраструктура практически полностью была подчинена нефтедобычи. В Эль-Табласо, недалеко от г. Маракайбо, был построен крупнейший нефтехимический комбинат. А сам г. Маракайбо превратился в нефтяную столицу и второй по величине город Венесуэлы, в котором активное развитие получили различные отрасли промышленности.

Озеро играет важную роль в экономике Венесуэлы. Нефтедобыча является наиболее прибыльной отраслью экономики страны, вследствие чего озеро служит источником ее благосостояния. Норма нефтедобычи составляет около 500 млн. баррелей/год (Gundlach et al., 2001) и является одной из наиболее высоких в мире. Через озеро проходит морской путь в порты Маракайбо и Кабимас, для обеспечения навигации прорыт канал, позволяющий заходить в озеро океанским судам. Грузы, перевозимые через озеро, включают нефть, уголь, цемент, зерно и др. Построенный в 1962 г. через пролив к морю мост Генерала Рафаэля Урданеты, имеющий длину около 8 км, является одним из самых длинных мостов в мире.

Среднегодовые параметры климата, оз. Маракайбо

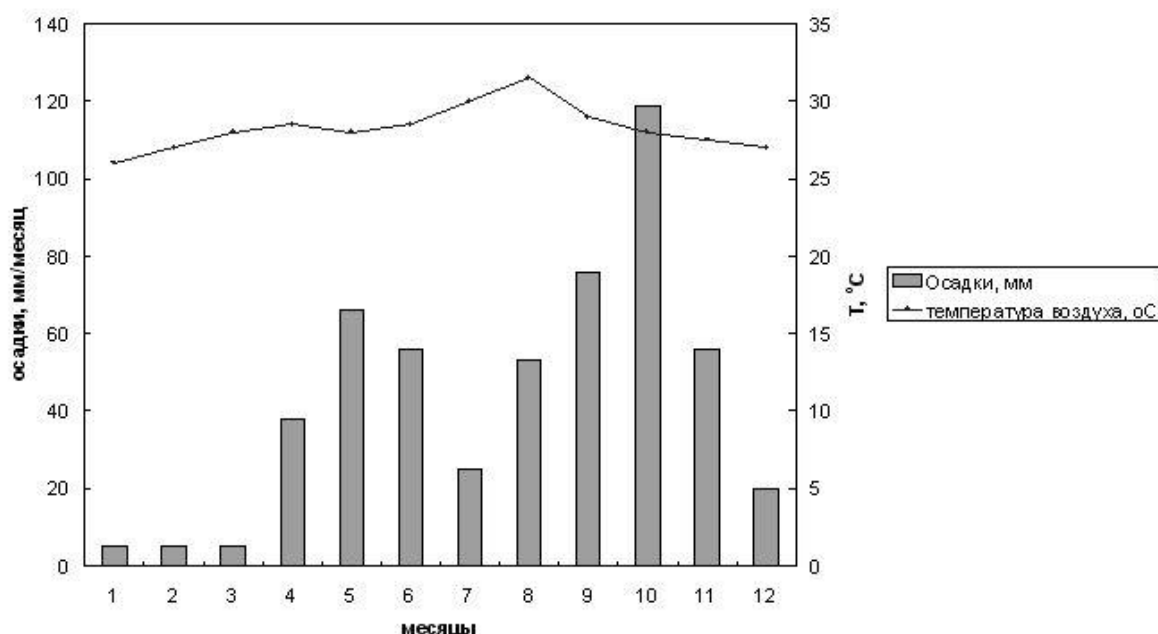


Рис. 2.6. Среднегодовые параметры климата, ст. Маракайбо.

### **Климат. Характеристики термического режима**

Бассейн озера располагается в жарком, гумидном климате. Среднегодовое количество осадков в регионе составляет 1270 мм, а среднемесячные температуры воздуха в течение года варьирует в пределах 26-31°C (рис. 2.6). Температура воды в озере незначительно изменяется как по времени, так и по площади, а также по глубине. Различия по площади составляют не более 0.5°C. Некоторая наблюдаемая разница температуры связана, прежде всего, с разницей солености. Температура эпилимниона в северной части озера составляет 30±1°C с минимумом в феврале и максимумом в сентябре. При наличии соленого гипolimниона температура у дна в центральной части озера составляет около 28.5°C. Когда соленый гипolimнион отсутствует вода озера изотермальна.

### **Характеристики водного режима и водного баланса**

Оз. Маракайбо питается водой 30 рек, крупнейшей из которых является р. Кататумбо, впадающая с юго-запада, ее среднегодовой расход составляет около 1600 м<sup>3</sup>/сек (Laval et al. 2005) или около 60% от общего притока в озеро. При этом общая величина речного при-

тока оценивается в 52 км<sup>3</sup>/год или около 1/6 от объема заключенной в озере воды. Речной приток значительно варьирует как в многолетнем разрезе, так и по сезонам. Максимум стока наблюдается в конце весеннего (май) и осеннего (октябрь-ноябрь) сезонов, а минимум - зимнего сезона (январь-март) (Findikakis et al., 2001).

Отток воды происходит через пролив Маракайбо в Венесуэльский залив Карибского моря. Кроме оттока через пролив происходит также и поступление в озеро соленой морской воды. Объем поступающей соленой воды зависит от комбинации факторов, включающих приливные явления, величину пресного речного притока, атмосферное давление и направления и скорости ветров в регионе. При небольшом пресном притоке, благоприятных баротропных условиях и северных ветрах клин соленой воды может продвигаться на значительное расстояние. В результате перемешивания более тяжелая соленая вода, входя в озеро, перетекает вдоль дна, формируя соленый гипolimнион. В то же время в эпилимнионе вода, управляемая ветром, циркулирует в направлении против часовой стрелки со скоростью 2 км/час (Redfield, Earlston Doe, 1964). В годы повышенной водности сток из озера увеличивается и начинает преобладать над соленой водой.

Приток морской воды в озеро был значительно облегчен после того, как к началу 1960-х годов был переуглублен судоходный канал, связывающего озеро с Карибским морем, в результате соленость озерной воды во второй половине XX в. резко возросла.

#### **Основные характеристики качества вод**

Оз. Маракайбо характеризуется солоноватой водой (1000-2000 мг/л) с высоким содержанием хлора, его концентрация в гиполимнионе приблизительно в 4 раза выше, чем в эпилимнионе. Опреснение эпилимниона происходит, прежде всего, за счет поступления речной воды в южную часть озера (Redfield, Earlston Doe, 1964). До переуглубления канала содержание хлора в озерной воде варьировало около среднего значения 750 мг/л. В годы с низкими осадками на водосборе наблюдалось его повышение до 1200 мг/л (1948 г.), а в годы интенсивных осадков - снижение до 425 мг/л (1938 г.) (Friedman et al., 1956). При длительном сохранении интенсивных осадков могло происходить практическое исчезновение соленого гиполимниона, однако при этом наблюдалось повышение солености по всей глубине к центру озера и ее снижение у берегов. После завершения гидротехнических работ по углублению канала, связывающего озеро с Карибским морем, соленость озерной воды существенно повысилась. В канале, соединяющем озеро с морем, градиент солености увеличивается по направлению к морю.

Озеро Маракайбо известно своей исключительной продуктивностью, являющейся источником накопления большого количества отмершего органического вещества, отлагающегося в гиполимнионе. Фосфор и другие биогенные вещества попадают в озеро с водосбора и аккумулируются в скелетах организмов, осаждаемых на глубине. Содержание общего фосфора в эпилимнионе составляет около 1.4 мкг-атом/л, тогда как с глубиной оно увеличивается до 7 мкг-атом/л. Концентрация фосфора в водах озера превышает его содержание в Венесуэльском заливе. Две трети фосфора представляет его органическая форма.

Из-за высоких концентраций органического материала, кислорода, растворенного в воде, становится недостаточно для его окисления, в результате глубинные воды в центре озера аноксичны и содержат гидроген сульфид. Постоянные бескислородные условия гиполимниона приводят к денитрификации нитратов и

выпуску фосфата из донных отложений в водную колонку. Поскольку тепловая стратификация озера очень слабая, стратификация плотности определяется, прежде всего, стратификацией солености, которая многими, в результате, рассматривается как первичный источник бескислородных условий гиполимниона (Findikakis et al., 2001). Необходимо отметить, что на бескислородные условия гиполимниона было указано еще в ранних работах по озеру (Gessner, 1953), до углубления канала, когда соленость его вод была существенно ниже. После углубления канала, объем аноксичных вод значительно увеличился.

Органические отложения, представленные в донных осадках, связаны с аноксичностью гиполимниона. Органический углерод и сера в них увеличиваются по направлению к центру озера. Содержание фосфора, напротив, в аноксичных районах снижается (Redfield & Doe, 1964).

#### **Основные биологические особенности**

Озеро Маракайбо, известное своей высокой биологической продуктивностью. Согласно мнению Gessner (1953) оно может являться одним из наиболее богатых озер по разнообразию фитопланктона. Уже в середине XX в. в фитопланктонном сообществе преобладали сине-зеленые водоросли вида *Microcystis*. Фитопланктон характеризовался крайне неоднородным распределением как по площади, так и с глубиной, в значительной степени определяемым градиентом солености (Gessner, 1953).

Озерная фауна представлена 7 основными группами: двустворчатые моллюски, брюхоногие моллюски, десятиногие ракообразные, усоногие ракообразные, кольчатые черви, бокоплав, равноногие ракообразные и плоские черви (Rojas et al., 1996). Наиболее многочисленны мидия *Mytella maracaiboensis*, неритида *Neritina reclivata*, корабельный червь *Psiloteredo healdi*, мелкий краб *Rhithropanopeus harrisi*, баянус *Balanus amphitrite*, nereис *Nereis* sp., анопила *Anopsilana crenata*.

Озеро богато рыбой, однако в связи с увеличивающимся токсическим загрязнением рыбная ловля на озере постепенно исчезает. Еще на начало XXI в. здесь работало около 20000 рыбаков.

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

На берегах оз. Маракайбо проживает более 5 млн. человек. Только в г. Маракайбо на сегодняшний день насчитывается более 1.5 млн. жителей. Значительная часть населения региона занята в сельском хозяйстве, на выращивании сахарного тростника и какао, а также в животноводстве. На водосборе развиты предприятия горно-добывающей промышленности. На озере идет активный лов рыбы. Однако, основным занятием проживающего на побережье населения в последние 100 лет является нефтедобыча (рис. 2.7). На озере построено более 12000 платформ, связанных 15100 км трубопроводов (Gundlach et al., 2001). Близ города Ла-Салина, возведен искусственный бетонный остров площадью 48 га, на котором возник новый порт по вывозу нефти. Инфраструктура, направленная на транспортировку нефти в регионе, оценивалась на начало 2000-х гг. в 2 млрд. долларов (Findikakis et al., 2001).



**Рис. 2.7.** Нефтедобыча на озере. Фото агентства Reuters.

Наряду с нефтедобычей в быстро растущих городах, и, прежде всего, в самом крупном на побережье г. Маракайбо происходит развитие различных отраслей обрабатывающей промышленности. Только за последние 20 лет население г. Маракайбо выросло фактически вдвое с 890 до 1600 тыс. человек (Kiage et al., 2009)

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Огромной проблемой оз. Маракайбо является длительная (уже около столетия) разработка нефтяных месторождений в его акватории.

Проблема еще больше усилилась после строительства в конце 1950-х – начале 1960-х гг. порта Пуэрто Миранду. Для успешного функционирования порта был прорыт канал глубиной около 13 м, что увеличило приток соленых вод в северную часть озера. К северу от порта был построен огромный нефтехимический комплекс Эль Табласо. Строительство порта и комплекса сопровождалось увеличением численности населения г. Маракайбо и, вследствие этого, масштаба сточных вод, разгружаемых в озеро. В результате нефтедобычи и нефтепереработки, а также огромного количества плохо очищенных сточных вод, вода озера характеризуется высоким содержанием токсических веществ. Наблюдения со спутников подтверждают наличие регулярных нефтяных пятен на поверхности озера (Hu Ch et al., 2003). Согласно данным PDVSA (1998) на озере с начала 1995 г. по осень 1998 г. было пролито около 3850 баррелей нефти, причем основные разливы происходили из-за аварий на трубопроводах. При удвоении нефтедобычи, произошедшей на озере с 1971 по 1998 г. количество аварий выросло приблизительно на 25%. Однако в силу повышения экологического контроля над предприятиями нефтяного комплекса, объемы разливов существенно снизились (Gundlach et al., 2001). Практически все нефтяные пятна достаточно быстро убирались, однако регулярные разливы успевают нанести значительный ущерб экологии озера.

Еще одной опасностью, связанной с нефтедобычей, является наблюдаемое в последние годы понижение дна оз. Маракайбо, происходящее в результате значительных объемов откаченной за столетие нефти. Для предотвращения вторжения морских вод, связанного с понижением дна, правительство Венесуэлы было вынуждено построить глиняную плотину. Предполагается, что в сейсмически неустойчивом районе плотина представляет значительную опасность. В случае ее разжижения она погребет под собой часть побережья с проживающими на нем жителями.

Наряду с нефтедобычей и промышленным загрязнением, значительное воздействие на экологию озера оказывают сточные воды, поступающие с речным стоком с плотно заселенного водосбора. Около 85% сточных вод Венесуэлы поступают в водоемы без соответствующей очистки (Leng et al., 2004). В результате в озеро попадают бытовые,



промышленные и сельскохозяйственные стоки, загрязненные, прежде всего, биогенными веществами. Наложение дополнительного биогенного притока на естественный высокий уровень содержания биогенных веществ в озере приводит к его крупномасштабной эвтрофикации. Согласно Gundlach et al. (2001) около 10% поступления в озеро фосфора происходит за счет стоков г. Маракайбо, остальные 90% поступают с речным стоком с водосбора.

Одним из наиболее ярких проявлений эвтрофирования оз. Маракайбо явилось наблюдавшееся в 2004 г. крупномасштабное распространение ряски *Lemna obscura*, покрывавшей в начале летнего сезона около 15 % площади его поверхности (Leng et al., 2004) в его северной и северо-западной части или около 135 млн м<sup>3</sup> воды (Kiage et al., 2009). Быстрое распространение макрофита вызвало неудобства для судоходства, особенно для небольших рыболовных судов (Campbell, 2004). Несмотря на предпринятые меры борьбы, макрофит продолжал быстро распространяться (рис. 2.8). Никакие химические или биологические способы борьбы действенны не были, единственным продуктивным методом оказался механический сбор сорняка с его последующим удалением. В результате правительство Венесуэлы было вынуждено ежемесячно тратить около 2 млн. долларов на очистку озера (Kiage et al., 2009). Государственная компания «Петролеос де Венесуэла» создала фонд очистки озера размером 750 млн. долларов (рис. 2.9). Особенно сложным оказался сбор сорняка в центре озера, для которого было необходимо использование специально оборудованных судов.

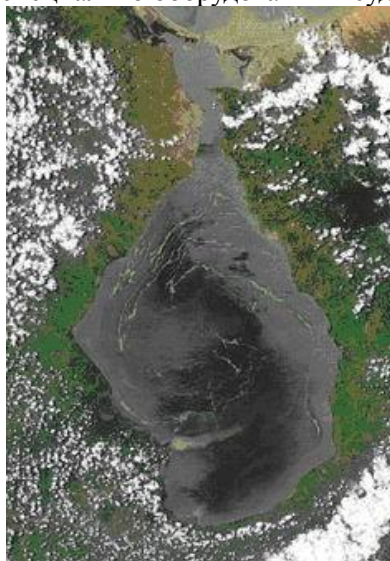


Рис. 2.8. Оз. Маракайбо в период цветения *Lemna obscura*. Фото NASA



Рис. 2.9. Уборка сорняка на оз. Маракайбо. Фото из ст. Leng et al., 2004

Сорняк, родиной которого являются пресные водоемы Техаса и Флориды, вероятно, попал в озеро на днище приходящих в Венесуэлу судов. По ряду гипотез вспышка 2004 г. была вызвана дождливой весной, в течение которой существенно увеличился пресный приток в озеро. Более легкая пресная вода, как описано выше, концентрируется в эпилимнионе, тогда как биогенные вещества скапливаются в глубинных соленых слоях. Чрезмерный приток пресной воды вызвал частичное перемешивание слоев с последующим поступлением биогенных веществ к поверхности, что и явилось причиной столь масштабной вспышки.

В 2006, а затем в 2007 гг. проблема с распространением ряски *Lemna obscura* повторилась, хоть и не в столь крупных масштабах. Эти вспышки также следовали за дождливыми веснами. Максимальное распространение сорняка в летний сезон составило 7% площади озера (Kiage et al., 2009). Покрову макрофита в очередной раз была подвержена северная, наиболее индустриально освоенная, часть водоема.

Доминирует точка зрения, что ряска безопасна для рыб, однако ее активный рост и последующее разложение снижает запасы кислорода в воде. При определенных условиях в ней могут концентрироваться тяжелые металлы и бактерии, такие как сальмонелла и холерный вибрион. Однако, несмотря на это, возможно ее полезное использование в качестве корма для птицы или при производстве бумаги (Leng et al., 2004).

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

Меры, необходимые для улучшения эколо-



гического состояния озера можно разделить на две группы (Findikakis et al., 2001):

- инженерные решения, предполагающие изменения батиметрии водоема и направленные на снижение солености озера и, соответственно, градиента плотности, ответственного за аноксичность гипolimниона;
- меры по управлению водосбором, включающие строительство очистных сооружений и контроль за точечными и площадными источниками загрязнения, позволяющие снизить, прежде всего, биогенную нагрузку на озеро.

Снижение солености озера, кроме улучшения экологического состояния водоема позволит также использовать ее для ирригационных нужд. Предлагаются инженерные решения, как без навигационных ограничений, так и с частичными навигационными ограничениями и даже с закрытием канала. Последние варианты предполагают, однако, огромные изменения местной инфраструктуры и частичное переселение жителей, что практически исключает их реализацию. На сегодняшний день меры по управлению водосбором являются более рентабельными и эффективными, нежели инженерные решения. Однако в оптуме должны быть приняты меры, относящиеся к обеим группам.

### 2.3. ОЗЕРО НИКАРАГУА (КОКИБОЛЬКА, МАР ДУЛЬЧЕ)

Озеро Никарагуа – самое крупное озеро Центральной Америки, расположенное в Никарагуа (рис. 2.10). Исконное название озера – Кокиболька или Мар Дульче, что означает "сладкое море". Его координаты: 11°00'-12°05'с.ш.; 84°46'-85°56'з.д., урез воды находится на высоте 32 м над уровнем моря. Озеро имеет достаточно правильную овальную форму. Его морфометрические характеристики сильно различаются у разных авторов. Согласно данным Ahlgren I., et al. (1995), представляющимся наиболее точными, площадь зеркала озера составляет 7700 км<sup>2</sup>, его средняя глубина – 13 м, максимальная – 43 м, объем заключенной воды – 108 км<sup>3</sup>. На озере расположено множество островов, в том числе наиболее крупные острова вулканического происхождения - о-в Ометепе, состоящий из двух вулканов Мадера и Консепсьон, и о-в Запатера.

В юго-восточной части находится архипелаг Солентинаме, состоящий из 36 островов, также вулканического происхождения, а на северо-востоке – архипелаг Нанситал. В центральной части озера близ крупных островов разбросано множество мелких, входящих в группу Гранадских островов.



Рис. 2.10. Озеро Никарагуа.

Чаша озера имеет тектоническое и вулканическое происхождение, одновременно. Регион, где оно расположено, подвержен частым землетрясениям и вулканизму. Над озером поднимается ряд вулканических конусов, самым высоким из которых является действующий влк. Консепсьон (1557 м), извержения которого были отмечены уже в XXI в. Полоса невысоких гор (до 900 м) отделяет озеро от Тихого океана. Согласно мнению геологов ранее на месте озера был большой морской залив, со временем благодаря тектоническим движениям проход к морю закрылся, и образовалось современное озеро.

Площадь водосбора системы оз. Манагуа – оз. Никарагуа – р. Сан-Хуан - составляет 41000 км<sup>2</sup> из которых около 70% расположено в Никарагуа и около 30% - в Коста-Рике (Montenegro-Guillén S. 2003). При этом частный водосбор оз. Никарагуа составляет 23844 км<sup>2</sup>, Манагуа – 6692 км<sup>2</sup>, р. Сан-Хуан – 10937 км<sup>2</sup>. В пределах водосбора распространены разнообразные ландшафты - от тропических переменно-влажных и влажных лесов в пониженной части водосбора до субарктических ландшафтов высоко в горах. Значительные площади занимают также луга, заболоченные и сельскохозяйственные

земли. Из-за большого диапазона экосистем и связанных с ними сред обитания водосбор озера отличается богатейшей биологической вариативностью.

### ***История заселения и роль озера в жизни окружающих народов***

В доиспанский, доколониальный период на побережье озера Никарагуа проживали индейские племена, в том числе ацтеки. Европейцы появились в регионе в начале XVI в., и с 1522 г. началось активное завоевание территории. В 1524 г. на северо-западном берегу озера был основан первый никарагуанский город – Гранада. Поскольку на территории Никарагуа не было обнаружено крупных месторождений ни золота, ни серебра, регион превратился в аграрную колонию Испании. С конца 16-го века для работы на плантациях (индиго, сахарного тростника и какао) стали завозить из Африки негров-рабов, хоть их рабочая сила использовалась здесь в сравнительно небольших масштабах. С 1570 по 1821 годы Никарагуа находилась в составе испанского генерал-капитанства Гватемала. Ее территория была поделена между помещиками-латифундистами, которые практиковали энкомьенду и пеонаж. Согласно энкомьенде местные жители «поручались» к энкомьендеро и обязаны были платить налог и выполнять повинность (работа на рудниках). Пеонаж предполагал наличие также обширного класса зависимого или полужависимого крестьянства, преимущественно подёнщиков, исполняющих барщину или платящих оброк.

В XIX в. на территории Центральной Америки начались активные войны за независимость. В результате этих войн территория Никарагуа в 1821 г., после провозглашения независимости от Испании, была включена в Мексиканскую империю, с 1823 по 1838 год – входила в состав Соединённых провинций Центральной Америки, и с 1838 г. была объявлена независимой республикой. Однако большую часть XIX в. страна находилась под сильнейшим влиянием США и Великобритании, а в начале XX в. была оккупирована США. После национально-освободительной борьбы под руководством Сандино страна в 1934 г. возвратила себе независимость, с этого времени начинается длительный период правления клана Сомосы, сменившийся периодом нестабильности, сопровождавшимся гражданскими войнами. В 1990 г. в результате демократических выборов

к власти пришло новое, проамерикански настроенное правительство и период гражданских войн закончился, однако в 2006 г. в результате выборов вновь победил лидер Сандинистского фронта национального освобождения Даниэль Ортега, возглавлявший Никарагуа в 1985—1990 гг.

Озеро Никарагуа играет важную роль в жизни людей, проживающих по его берегам. Оно является источником как питьевого, так и сельскохозяйственного водоснабжения и рыбных ресурсов. Кроме того, озеро и питающие его реки имеют значительный гидроэнергетический потенциал. До строительства Панамского канала через оз. Никарагуа проходил путь, связывающий Атлантический океан с Тихим. После строительства Панамского канала транспортное значение оз. Никарагуа резко снизилось. На сегодняшний день особенно усилилась эстетическая роль озера - оно является прекрасным водоемом, привлекающим своей красотой массы туристов, приносящих местной экономике значительную прибыль.

### ***Климат. Характеристики термического режима.***

Регион, в котором расположено озеро, отличается влажным жарким климатом. Количество выпадающих осадков изменяется от 1200 мм/год на северо-западе (Малакатля) до 4000 мм на юго-востоке, в Коста-Рике (верховья р. Рио Фро) (рис. 2.11). Температура воздуха колеблется в пределах 25-32°C. Для озера характерны частые ветры, дующие на запад, в сторону Тихого океана. Периодически случаются мощные шторма. Средне годовая температура воды составляет 29°C.

### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

Оз. Никарагуа питают многочисленные реки и ручьи, наиболее крупные из которых – р. Туле, Камастро, Тепенагуасапа, Акоюпе, Маяс, Ояте, Малакатя, Фрио и др. Река Типитапа соединяет оз. Никарагуа с соседним оз. Манагуа, однако сток по ней наблюдается лишь в годы высокой влажности. Отток из оз. Никарагуа происходит по р. Сан-Хуан, несущей свои воды в Карибское море, ее средний расход воды составляет 476.6 м<sup>3</sup>/сек (Montenegro-Guillén, 2003). Несмотря на территориальную близость оз. Никарагуа и Тихого океана, связь между ними отсутствует.

Внутригодовое распределение осадков в бассейне оз. Никарагуа

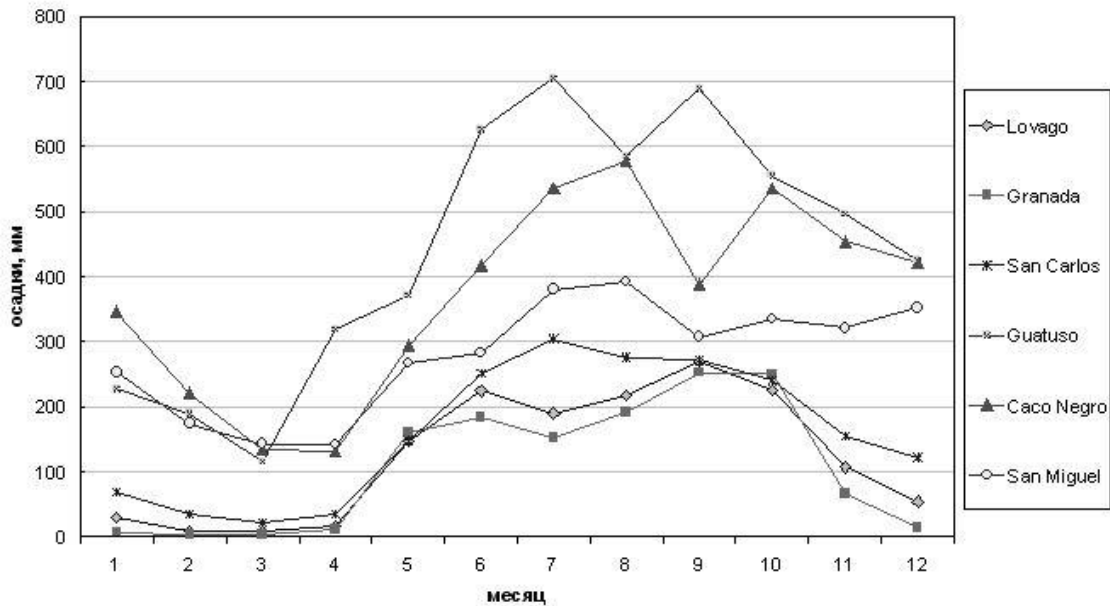


Рис. 2.11. Внутригодовое распределение осадков в бассейне оз. Никарагуа. По данным Montenegro-Guillén, 2003

Приходная часть водного баланса озера на 46% состоит из осадков, выпадающих на его поверхность ( $12.65 \text{ км}^3$ ), на 31% из речного стока с водосбора ( $8.45 \text{ км}^3$ ), еще  $0.16 \text{ км}^3$  периодически поступает из оз. Манагуа,  $6.18 \text{ км}^3$  или 22% составляет грунтовый приток. В расходной части водного баланса испарение составляет 46% или  $12.6 \text{ км}^3$ , отток - 54% или  $15 \text{ км}^3$  (Montenegro-Guillén, 2003).

Годовая амплитуда колебаний уровня воды оз. Никарагуа составляет около 2 м, а за весь период наблюдений - 4.27 м (Montenegro-Guillén, 2003). Минимальный зарегистрированный уровень был отмечен в 1886 г. - 29.57 м, максимальный - в 1861 г. - 33.84 м. Из-за сильных восточных ветров, наблюдающихся в регионе обычно с января по май и достигающих скорости до 40 м/с (Davies, 1976) на озере достаточно часто наблюдаются шторма, придающие ему сходство с морем.

#### Основные характеристики качества вод

Гидрохимия оз. Никарагуа изучена достаточно слабо. Озеро хорошо насыщено кислородом, особенно в поверхностном слое, где его концентрация составляет 74-173% насыщения, что свидетельствует об активно идущих процессах фотосинтеза (Bussing, 2008). Средне годовая концентрация хлорофилла-а в озерной воде оценивается в 13 мкг/л. По своему

трофическому статусу озеро может быть причислено к категории мезотрофных.

#### Основные биологические особенности

На озере Никарагуа произрастает богатая водная растительность, в том числе широко распространившийся водный гиацинт (*Eichhornia crassipes*) и водный салат (*Pistia stratiotes*). Оба вида приурочены к устьевым участкам рек, где они формируют обширные заросли. Озерная фауна состоит из представителей подкласса веслоногих ракообразных, отряда ветвистоусых рачков и личинок комаров-звонцов. Средне годовая первичная продуктивность озера высокая и составляет  $2300 \text{ мг С/м}^2 \text{ день}$ , в том числе бактериальная продуктивность -  $625 \text{ мг С/м}^2 \text{ день}$ . (Ahlgren I., et al., 1995). Его первичная и бактериальная продуктивность существенно ниже, чем в оз. Манагуа.

В оз. Никарагуа проживает около 45 видов рыбы (Villa, 1971, Davies, 1976), представляющих 27 родов и 16 семейств. Многие виды имеют морское происхождение или толерантны к соленой воде. Кроме того, здесь обитает 16 видов цихлид, в том числе речной вид *Theraps underwoodi* (McCrary et al., 2005). Большинство никарагуанских цихлид являются эндемиками. К эндемикам относится и представитель семейства харациновых - астианакс (*Astyanax cocibolca*) (Bussing, 2008). Среди других видов рода астианакс - широко

распространенный в пресных центрально-американских водах *Astyanax aeneus*. Также в озере распространены планктоноядные виды семейства сельдевых - *Dorosoma chavesi* и отряда атериноподобных - *Atherinella sardina*. (Bussing, 2008), представитель отряда окунеобразных - снук (*Centropomus parallelus*) (Davies, 1976). Среди вселенных видов – искусственно разводимая в клетках на аквафермах тилапия, активно используемая в коммерческих целях.

Однако, основной особенностью оз. Никарагуа является наличие в нем пресноводной акулы (*Carcharhinus nicaraguensis Gill et Bransford*). Это крупная рыба, достигающая 2.5-3 м в длину, родственная бычьей акуле (*C. leucas*). Первые научные сведения об озерных акулах относятся к 1877 г. Акулы оз. Никарагуа отличаются ужасной прожорливостью и агрессивностью. До их активного вылова, начавшегося в 1970-е гг., они водились в озере в больших количествах. К началу XXI в. акулы стали большой редкостью.

Существует несколько теорий попадания акул в озеро, хоть ни одна не имеет строгого научного доказательства. Согласно более старой, геологической, теории ранее на месте озера был большой морской залив, со временем проход к морю закрылся, и образовалось озеро, в котором до сих пор живут акулы, приспособившиеся с годами к пресной среде. Однако данная теория не объясняет, почему акул нет в рядом расположенном оз. Манагуа, также являющимся по геологическим данным остатком морского залива. Причем разница ихтиофауны этих двух озер весьма очевидная.

Согласно второй, более новой теории, акулы проникли в оз. Никарагуа из Карибского моря. По утверждению туземцев в озере обитает два вида акул: краснобрюхая «тинторерос» и белобрюхая «визитанте», или «иммигранте». Туземцы говорят, что «визитанте» мельче и "живей" «тинторерос», так как они приплывают в озеро по р. Сан-Хуан, избилующей порогами. Даже в наши дни туземцы не меньше опасаются акулы из р. Сан-Хуан, чем «тинторерос», проживающей в самом оз. Никарагуа. После подтверждения родства никарагуанской и бычьей акул, теория проникновения акул в озеро из Карибского моря по р. Сан-Хуан считается наиболее правдоподобной (Thorson, 1982). Однако, по данной теории, остается до конца непонятным,

что именно привлекает акул в оз. Никарагуа. Акулы-самки, пойманные в озере, иногда оказывались с зародышами, но размножаются они там или нет, до сих пор неизвестно. По мнению Thorson (1982) размножение акул происходит в устье р. Сан-Хуан, после чего они возвращаются в озеро.

Кроме акулы из морских обитателей в озере встречаются также тарпан (*Megalops atlanticus*) - большая морская рыба из семейства сельдевых, ближайшая родственница акул - пила-рыба (*Pristis perotteti* и *Pristis pectinatus*) и их неизменные спутники – прилипалы.

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

На водосборе оз. Никарагуа проживает чуть более миллиона человек, около  $\frac{3}{4}$  из которых живет в Никарагуа и около  $\frac{1}{4}$  - в Коста-Рике. Из-за длительного периода гражданских войн и нестабильности, Никарагуа является одной из беднейших стран Центральной Америки с аграрной экономикой, ВВП на душу населения в 2009 году составлял в стране 2800 долларов США. Экономика Коста-Рики базируется на туризме, сельском хозяйстве и производстве и экспорте электроники, ВВП на душу населения составляет в стране 10900 долларов США. Плодородные почвы вокруг озера обеспечивают процветание в регионе сельского хозяйства. Здесь производятся кофе, бананы, сахарный тростник, хлопок, рис, кукуруза, табак и соя. Разводится мясо-молочный скот и свиньи, а также птица. В Никарагуанской части бассейна сельское население составляет 55%, а в Коста-Риканской – 85%. В промышленном секторе имеет развитие переработка сельхозпродукции, пищевая и текстильная промышленность, лесопилки и ряд отраслей добывающей промышленности.

Несмотря на размер озера и его связь с морем, транспортная инфраструктура развита достаточно слабо. Наиболее крупным портовым городом является Гранада, наряду с которым на озере еще три порта: Сан-Карлос, Сан-Хорхе и Сан-Мигель. До строительства Панамского канала существовали планы соединения Тихого и Атлантического океана каналом, проходящим через озеро Никарагуа, так называемого Никарагуанского канала. С этой целью еще в 1830 г. по повелению голландского короля Вильгельма II была произведена первая попытка топографического исследования центрально-американского перешейка. Большинство проектов,

предложенных в середине XIX в., проходили через озеро Никарагуа при этом по одним проектам озеро предполагалось расширить (Бланше), по другим – осушить шлюзами, направив его воду в два океана, и утилизировать осушенное русло для русла канала (Вирле д'Ау). После строительства Панамского канала никарагуанские проекты стали не актуальны, однако периодически они вновь привлекали к себе внимание. Интерес к использованию озера как транспортной магистрали особенно усилился к концу XX - началу XXI века. Проведенное в 1970 г. технико-экономическое обоснование транспортной системы через оз. Никарагуа и р. Сан-Хуан свидетельствовало об экономической и финансовой выгоде такого строительства. Однако, использование водной системы для транспортных целей может ухудшить ее экологическое состояние. Кроме того, планы транспортного строительства входят в противоречие с планами гидроэнергетического строительства на р. Сан-Хуан, которое может сократить норму стока на 1/3, что негативно скажется на навигации (Montenegro-Guillén, 2003).

Оз. Никарагуа является источником воды для питьевых и сельскохозяйственных нужд. По берегам озер Никарагуа и Манагуа и на равнине Леон-Ченандега есть около 742 000 гектаров земли, подходящих для ирригации. Объем доступной воды в этих областях оценивается в 0.745 км<sup>3</sup>/год, его достаточно для орошения 138 000 га земли (Montenegro-Guillén, 2003). Таким образом, около 600 000 га земли нуждаются в дополнительных водных поставках. С целью решения этой проблемы было предложено много проектов, большинство из которых предполагали использование воды оз. Никарагуа. Так недавняя ирригационная стратегия тихоокеанского региона Никарагуа предполагает переброску вод р. Сан-Хуан в Сан Исидро и поднятие уровня оз. Манагуа за счет переброски в него части воды из оз. Никарагуа по руслу Тамариндо. Это позволит оросить 600 000 га земель, расположенных вокруг и выше озера. Согласно данному проекту предполагается строительство плотин на р. Тамариндо с последующей выработкой электроэнергии. Кроме того, проект позволяет полностью обеспечить питьевые нужды г. Манагуа. Однако, как и большинство других инженерных решений, проект предусматривает заметное снижение уровня воды в р. Сан Хуан, что крайне негативно скажется на

навигации.

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

По сравнению со многими крупными центрально-американскими озерами, оз. Никарагуа считается не сильно загрязненным. Однако его экологическое состояние значительно ухудшилось за последние десятилетия. Качество озерной воды тем более важно, что она активно используется в регионе на питьевые нужды. Главную угрозу качеству озерной воды представляют плохо обрабатываемые городские и сельскохозяйственные стоки, токсичные стоки с открытых горных выработок, загрязнение, поступающее воздушным путем, а также сильно распространившиеся на озере в последние десятилетия аквафермы тилапии.

Согласно оценкам выполненным Никарагуанским Институтом природных ресурсов (IRENA), еще в начале 1980-х гг. в озеро ежедневно попадало 32 тонны неочищенных стоков, разгружаемых в питающие озеро реки и непосредственно в сам водоем. С тех пор из-за экономических проблем в стране ситуация на озере не улучшилась, и необходимой очистки стоков по-прежнему не проводится. Среди основных точечных источников загрязнения – города Сан Микелито, Сан Хорхе, Гранада, Хуигальпа, Сан Карлос, Эль Кастильо, Сабалос и Сан Хуан дель Норте. Самым вредным производством была признана «Pennwalt Chemical Corporation».

Большое количество промышленных и коммунальных сточных вод сказалось на ухудшении качества воды озера, прежде всего на увеличении токсического, а также биогенного загрязнения. Кроме промышленных и коммунальных стоков, значительное биогенное загрязнение вызывают также попадающие в озеро сельскохозяйственные стоки. Они содержат огромное количество смываемых с полей удобрений, пестицидов и других химикалий, широко используемых в сельском хозяйстве. В департаментах Чонталес, Боако и Ривас без очистки поступают в воду также практически все стоки животноводства. Сельскохозяйственные стоки попадают, прежде всего, в южную часть озера и в вытекающую из него р. Сан-Хуан. Разгружающиеся здесь реки собирают свои воды не только с территории Никарагуа, но и расположенной южнее Коста-Рики, где сточные воды очищаются также плохо. Согласно материалам исследовательского цен-

тра внутренних вод Никарагуа воды р. Сан-Хуан значительно загрязнены пестицидами, активно используемыми при выращивании бананов.

Вселение в озеро тилапии с целью повышения его рыболовного потенциала и активное ее выращивание в клетках на аквафермах крайне негативно отразилось как на качестве воды, так и на местном населении цихлид, оказавшемся неконкурентоспособным и неприспособленным к новым болезням, принесенным этим видом. Если до вселения тилапии цихлиды составляли более 2/3 общей биомассы рыбы, то сейчас их доля существенно снизилась. Согласно мнению McKaye et al. (1995) из-за вселения тилапии сократились по численности как минимум 16 видов цихлид. Биологическая вариативность водоема пострадала также за счет скрещивания местных видов с тилапиями, сбегавшими с акваферм. В озере искусственно разводится около 5 млн. килограмм рыбы, что вносит в него ежедневно около 40000 килограммов удобрений, которые не могут быть ни собраны, ни дезинфицированы. Такая разгрузка сравнима с необрабатываемыми отходами города с населением около 85000 человек (Homizak J., 2001). С начала 2000-х годов проблеме сокращения биологического загрязнения и сокращения вариативности озера в связи с вселением тилапии было уделено много внимания (McKaye et al. 1995, Homizak J., 2001, McCrary et al., 2005), и было принято решение о пересмотре практики ее разведения.

Коммерческий лов рыбы, в том числе рыбы-пилы, особенно интенсивно развивающийся с 1970-х гг., причинил большой урон рыбным запасам озера. Мясо, получаемое от этих рыб, используется как внутри страны, так и экспортируется за рубеж. Также «сверхэксплуатируется» акула, мигрирующая между Карибским морем и оз. Никарагуа (Thorson 1982). Вылов акулы очень поощрялся, так как она представляла опасность для отдыхающих на озере. К настоящему времени в озере осталось совсем немного акул, которые из-за своей малочисленности уже практически не опасны.

Поскольку местные вулканические почвы характеризуются легкой смываемостью, среди других угроз качеству воды – значительная эрозия, связанная с вырубкой лесов, развитием сельского хозяйства и добывающей промыш-

ленности, дорожным строительством и сведением кустарника в городских поселениях (Montenegro-Guillén, 2003). Большая часть смываемого материала оседает в озере, кроме того, из-за эрозии происходит постепенное заполнение наносами русла р. Саг-Хуан, глубины которой в последние годы снижаются. Информации по количеству приносимых в озеро осадков нет, однако рассчитанные данные по смыву с бассейна для притоков р. Сан-Хуан составляют 817 тонн/км<sup>2</sup> год для водосбора р. Сан-Карлос и 216 тонн/км<sup>2</sup> год для водосбора р. Сарапики (Montenegro-Guillén, 2003).

Еще одной угрозой водной среде является развитие на побережье горно-добывающей промышленности, что приводит к утрате водных и прибрежных сред обитания, исчезновению многочисленных разновидностей рыбы, млекопитающих, птиц и беспозвоночных.

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

Оз. Никарагуа было признано уникальным природным объектом мирового значения. Расположенный на озере остров Ометепе провозглашен естественным заповедником и памятником культурного наследия страны. В октябре 1994 г. организации UNEP и GS/OAS подписали совместное Соглашение, согласно которому они должны поддержать Коста-Рику и Никарагуа в выполнении Проекта экологического управления и жизнеспособного развития бассейна реки Сан-Хуан. Главными приоритетами проекта явились: управление и охрана водных ресурсов на уровне частных водосборов, сохранение биологической вариативности, стимулирование экономической деятельности, борьба с бедностью и усиление законодательства, позволяющего урегулировать спорные вопросы на водосборе. Под руководством мэров муниципалитетов, окружающих оз. Никарагуа, в январе 2001 г. в коалиции с ведущими представителями законодательной и исполнительной властей разработана дальнейшая программа развития Бассейна р. Сан-Хуана - Стратегическая Программа Действия, защищающая качество воды озер Никарагуа и Манагуа. Однако успешное продвижение программы тормозится ограниченностью финансовых и людских ресурсов, а также недостаточными пока сведениями о процессах, происходящих в озерах.



## Глава 3. КРУПНЕЙШИЕ РЕЧНЫЕ

В данной главе описываются крупнейшие озера, чье образование или режим всецело связаны с деятельностью текучих вод. Примером больших речных озер, сформированных в результате накопления аллювия и образования «аллювиальных плотин» в речных долинах является оз. Ханка. Многие большие озера расположены в пределах крупнейших речных систем, практически полностью определяющих их внутригодовой режим. Примерами таких водоемов являются расположенные в бассейне реки Янцзы озера Донгтинг, Поянху и Тай, расположенное в бассейне р. Меконг оз. Тонлесап и расположенное в верхней части бассейна р. Конго оз. Бангвеулу. Все озера имеют котловины тектонического происхождения, характеризующиеся при этом значительной уплощенностью. Большую часть года озера занимают относительно небольшую площадь (1000-4000 км<sup>2</sup>), однако сразу после разлива, вызванного повышением уровня воды в реке, многие из них достигают огромных размеров, порой сливаясь воедино со своими небольшими соседями. Площадь озер значительно варьирует не только внутри года, но и в многолетнем интервале времени, в зависимости от водности реки в конкретный год. Так площадь оз. Тонлесап при наибольших разливах может достигать 30000 км<sup>2</sup>, оз. Донгтинг (Дунтинху) – 20000 км<sup>2</sup>, оз. Бангвеулу – 16000 км<sup>2</sup>.

Отличительной чертой всех рассматриваемых водоемов является уплощенное дно, сравнительно небольшие глубины, значительные колебания уровня воды в течение года, и резкое нарастание площадей зеркала при поднятии уровня. Большие вариации площади создают благоприятные условия для образования вокруг озер водно-болотных угодий, являющихся средой обитания богатого птичьего населения, так что практически все рассматриваемые озера вместе с окружающими их землями включены в состав Рамсарских охраняемых территорий.

Большинство рассматриваемых озер расположено в пределах густонаселенных речных долин, но, несмотря на значительные изменения, происходящие в последние десятилетия в водоемах в результате антропогенного прессинга, промывной режим позволяет сохранить во многих из них вполне приемлемое качество воды. Так на озерах Донгтинг и Поянху (плотность

населения в их бассейнах 57 и 271 чел/км<sup>2</sup>, соответственно) вода до последнего времени продолжала оставаться слабо загрязненной, и по большей части своей акватории озера оставались мезотрофными. Значительное ухудшение качества воды наблюдалось лишь в маловодные годы. В начале 2000-х оно было связано в основном с завершением строительства выше по течению р. Янцзы дамбы «Три ущелья» и с заполнением созданного водохранилища, что резко сократило сток по реке.

### 3.1. ОЗЕРО ТОНЛЕСАП

Озеро Тонлесап расположено в центральной части Камбоджи, в бассейне р. Меконг, при впадении в нее р. Тонлесап. Координаты 12°13'-13°14'с.ш.; 103°42'-104°45'в.д.: «Тонлесап» в переводе с камбоджийского означает «большая река пресной воды» или «большое озеро». Это самый крупный пресноводный водоем Юго-Восточной Азии. Его площадь зеркала сильно варьирует в зависимости от сезона и водности года. Большую часть года площадь водного зеркала составляет 2500-2700 км<sup>2</sup>, протяженность - 160 км, ширина - 36 км, средняя глубина около 1 м, максимальная – 3.3 м (Campbell et al., 2006). Наводнение в период муссонов полностью изменяет поток р. Тонлесап, связывающей озеро с р. Меконг, она начинает течь в обратном направлении, увеличивая площадь водной поверхности озера в 3-6 раз. Площадь озера расширяется до 9000-16000 км<sup>2</sup>, длина и ширина до 250 и 100 км, соответственно, а глубина достигает 10-12 м (Matsui et al., 2006). Максимальные значения площади при разливе - около 30000 км<sup>2</sup>. Объем заключенной в озере воды изменяется в течение года от 2 до 60 км<sup>3</sup>.

Озеро Тонлесап речного происхождения, оно занимает депрессию Кампучийской равнины, созданную из-за геологического напряжения, вызванного столкновением индийского субконтинента с Азией. Возраст современного озера оценивается около 5700 лет (Campbell et al., 2006). Согласно мнению Tuskawaki et al. (2002) между 7500 и 5700 лет назад на его месте существовал другой водоем, меньших размеров и не имеющий связи с р. Меконг.

Оз. Тонлесап характеризуется уплощенным дном и небольшими изменениями рельефа в пределах всей заливаемой в паводочный сезон территории. Рельеф бассейна преимущественно



но равнинный. Невысокие холмы (около 300 м) на востоке отделяют бассейн озера от бассейна р. Меконг. Со всех сторон озеро окружено болотно-лесными угодьями. Разреженный лес начинается практически сразу вокруг границы озера, очерченной в сухой сезон. В древесно-кустарничковом ярусе преобладают низкорослые деревья до 2-4 м и кустарники лиственных пород, характерные для субэкваториальных муссонных лесов. Здесь встречаются акация, ротанговая пальма, баррингтония азиатская, комбретум, гавайская древовидная роза, хурма, каперсы, тетрацера, ункария, циссус, карандажа, фарбитис. Разреженный лес постепенно переходит в мангровые заросли. В сезон дождей, во время разлива р. Меконг, весь лес затопляется, также как и огромные площади полей, расположенных вблизи озера. Стоящие на высоких сваях хижины, расположенные в зоне затопления, погружаются в воду почти до уровня пола. После спада уровня, поля оказываются покрытыми плодородным слоем ила, обеспечивающим высокие урожаи риса. Озеро в сухой сезон сдерживается в своих границах естественной дамбой, состоящей из отложений осадка, принесенного в сезон муссонов. С южной стороны из-за перемещения наносов р. Меконг в период паводка, формируется сложная дельта, хорошо заметная при низком уровне (Campbell et al., 2006).

### **История заселения и роль озера в жизни окружающих народов**

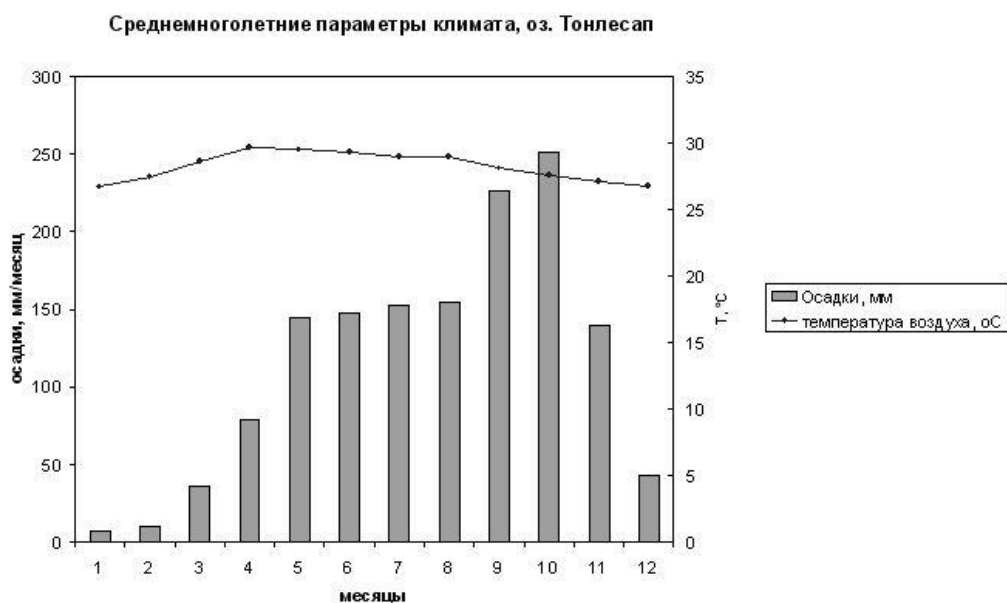
Земли по берегам оз. Тонлесап были заселены еще задолго до н.э. Раскопки свидетельствуют об охотничьих общинах, существовавших за 6000 лет до н.э. В третьем тысячелетии до н.э. в регионе появляется сельское хозяйство. Разработка железа в регионе датируется пятым столетием до н.э. К 4-ому столетию возникли прочные торговые связи с Индией. Уже к 612 г. в регионе возникло огромное Кхмерское государство, занимавшее большую территорию, чем современная Камбоджа (Campbell et al., 2006). Расцвет Кхмерской империи приходится на IX-XIII вв. По мнению Evans et al. (2004) чрезвычайная продуктивность экосистемы оз. Тонлесап явилась основой для возникновения и длительного существования Кхмерской империи.

С 1880 г Камбоджа перешла под протекторат Франции. С 1942 по 1945 гг. была оккупирована Японией, а в 1953 г. получила независимость. С конца 1960-х по 1975 год в стране шла

гражданская война, в которую активно вмешивались Северный и Южный Вьетнам и США. В 1970 в результате военного переворота к власти пришёл генерал Лон Нол, и провозгласил создание Кхмерской Республики. Однако уже в 1975 г. власть перешла к победившим в гражданской войне «красным кхмерам» во главе с Пол Потом. Стране был навязан курс на построение «аграрного социализма», обернувшийся геноцидом против народа. К 1978 г. экономика страны была полностью истощена, и Пол Пот развязал агрессию против Вьетнама, завершившуюся в 1979 г. Свержением режима «красных кхмеров». Окончательный вывод вьетнамских войск из Камбоджи произошёл в 1989 г., но гражданская война в стране после этого продолжалась ещё некоторое время. В течение 1990-х гг. Камбоджа находилась в тяжелом состоянии продолжающейся нищеты и политического кризиса, в связи с этим лидер страны Хун Сен согласился на посредничество ООН. Была сформирована коалиционная администрация с участием лидеров оппозиционных сил, и было принято решение о возвращении короля Сианука. В 2000-е гг. состояние экономики несколько стабилизировалось, хоть нищета сохранилась, страна вышла на путь демократизации и постепенного развития. Доход на душу населения стабильно повышается, хоть и продолжает оставаться на более низком в странах Юго-Восточной Азии.

Озеро Тонлесап играет огромнейшую роль в жизни населения проживающего по его берегам. Оно удовлетворяет потребности в воде и пище, обеспечивает средствами к существованию. Рыбы оз. Тонлесап являются главным источником белка для кампучийцев. В озере происходит лов эндемичной змеи *Enhydryis longicauda*, используемой для питания, а также для прокорма крокодилов на крокодиловых фермах, расположенных вокруг озера. Через озеро проходят важнейшие транспортные пути, связывающие Пномпень с пятью провинциями Камбоджи. Вокруг озера активно развивается туризм, в начале 2000-х гг. сюда прибывало от 20 до 30 тыс. посетителей (Matsui et al., 2006). Темпы развития туризма в Камбодже очень высокие, ежегодное количество туристов вырастает в целом по стране на 18.5%.

Озеро выполняет также функции регулятора стока, предотвращая паводковые разливы ниже по течению р. Меконг и обеспечивая около 50% ее стока в сухой сезон. Таким образом, важность озера выходит далеко за рамки



**Рис. 3.1.** Среднемесячные параметры климата, ст. Пномпень.

Камбоджи.

**Климат. Характеристики термического режима**

Климат региона тропический муссонный, с четко выраженными сухим и влажным периодами. Влажный воздух приносит летний юго-западный муссон с Сиамского залива и Индийского океана, продолжающийся с мая по октябрь. Сухой сезон длится с ноября по март (рис. 3.1), в это время в регионе доминируют ветра северо-восточного направления. Годовое количество осадков варьирует в пределах бассейна от 1350 до 1550 мм (Campbell et al., 2006), их максимум обычно приходится на сентябрь месяц. Средние дневные температуры воздуха в течение года изменяются от 20 до 36°C. Во влажный летний период температуры могут существенно понижаться, а в сухой зимний - повышаться. Минимум температуры приходится на январь, максимум – на апрель (Campbell et al., 2006).

Озеро относится к водоемам тропической зоны с небольшой годовой амплитудой температуры воды, изменяющейся от 28 до 33°C (Sarkkula et al., 2004). Наиболее низкие температуры наблюдаются в январе-феврале, максимум приходится на начало мая.

**Характеристики водного режима и водного баланса**

Разлив р. Меконг создает исключительный водный режим оз. Тонлесап. Согласно 90-летнему ряду наблюдений средняя амплитуда колебаний уровня озера между сухим и влажным сезоном составляет 8.2 м (Campbell et al., 2006). В межень, продолжающуюся с ноября по май, глубина озера по большей части акватории обычно не превышает один метр, в этот период происходит питание р. Меконг за счет его вод. С началом паводка (в июне-июле) уровень воды в озере резко возрастает до 10-12 м, в это время воды р. Меконг текут в озеро по р. Тонлесап, способствуя быстрому увеличению его площади (рис. 3.2). Паводок на р. Меконг обычно заканчивается в октябре, после чего уровень озера резко падает и р. Тонлесап вновь начинает питать р. Меконг.

Согласно оценкам, выполненным в конце XX - начале XXI вв. в рамках MRCS/WUP-FIN (2006) общий приток воды в озеро Тонлесап составляет 79.7 км<sup>3</sup> в год из которых около 30 % приходит со стоком впадающих в озеро рек, около 13 % приходится на осадки и 51 % перетекает из р. Меконг в период муссонов, 5% приходится на грунтовое питание. Обратно в р. Меконг поступает 70.4 км<sup>3</sup> воды, испаряется 9.2 км<sup>3</sup>.

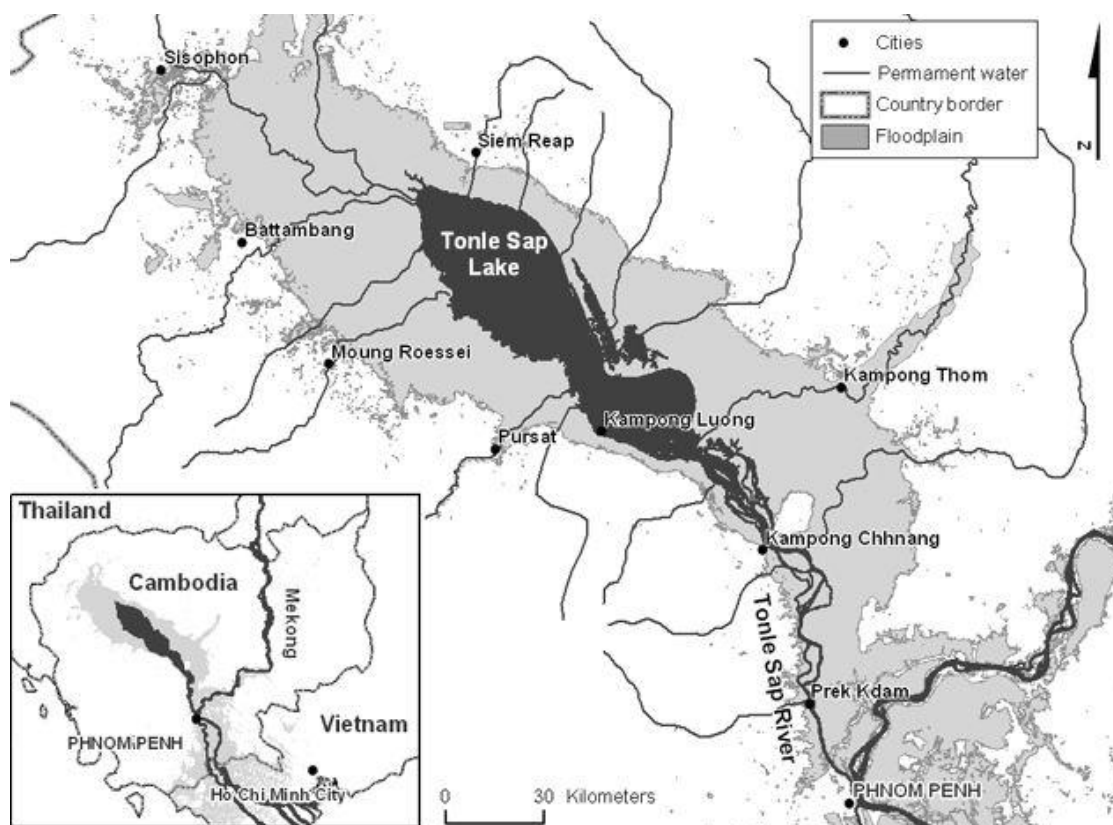


Рис. 3.2. Озеро Тонлесап в период межени (темно-серый) и разлива (светло-серый). Источник: The Tonle Sap Lake..

### Основные характеристики качества вод

Озерная вода пресная, мутная. Прозрачность низкая, наибольшие значения характерны для начала сухого сезона. Максимальная концентрация взвешенных веществ наблюдается в конце сухого сезона, с апреля по июнь. Уровень воды в это время низкий, ветра значительные, из-за взмучивания донных отложений концентрация взвешенных веществ в воде возрастает.

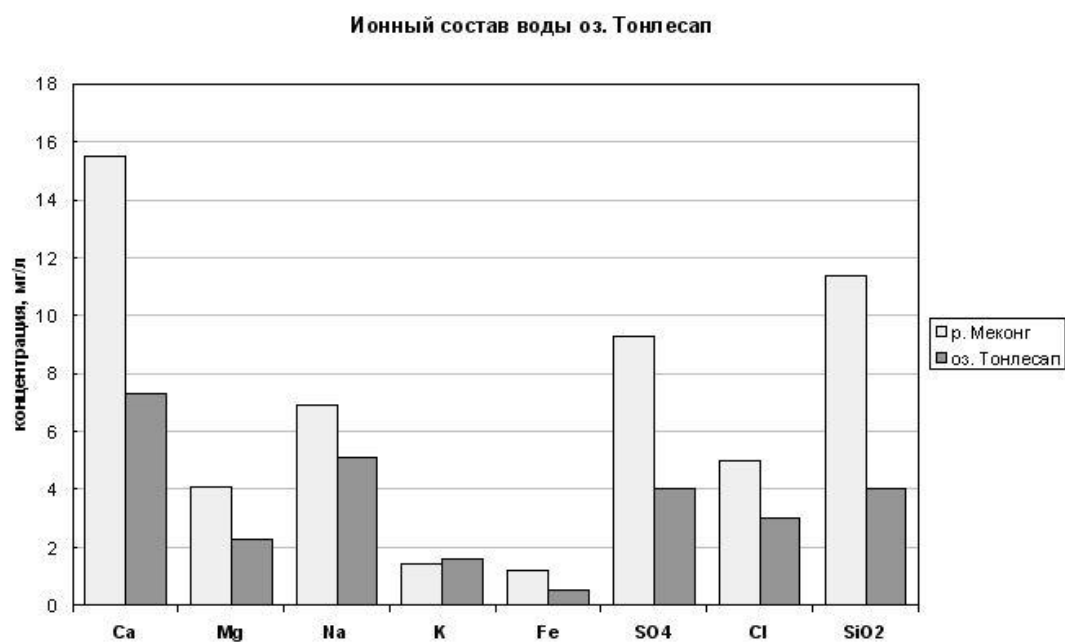
Электропроводность озерной воды составляет 50-120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Реакция среды нейтральная, pH от 6.6 до 7.2. Вода характеризуется слегка повышенным содержанием ионов кальция, сульфатов и силикатов, приносимых с водами р. Меконг (Campbell et al., 2006), при этом содержание ионов в озере существенно ниже, чем в реке (рис. 3.3). Содержание кислорода невысокое, в течение всего года оно колеблется в пределах 4-8 мг/л. Большую часть года кислород присутствует на всей глубине, однако в период паводка на части заливаемой поймы наблюдается аноксия. Содержание общего азота 100-350 мкг/л, общего фосфора – 10-30 мкг/л (Campbell et al., 2006). Соотношение азота к

фосфору составляет десять к одному. Из-за чрезвычайной продуктивности озерной экосистемы биогенные вещества активно потребляются биотой.

### Основные биологические особенности

Озеро Тонлесап и окружающие его болота характеризуется очень высокой биологической продуктивностью и вариативностью. По мнению Rainboth (1996) это одна из наиболее продуктивных пресноводных экосистем мира. Здесь произрастает около 200 видов высших растений (Tonle Sap Biosphere Reserve 2002), значительную часть которых составляют затопляемые в паводочный сезон низкорослые деревья, кустарники и травы. Погруженных водных растений мало из-за высокой мутности воды и значительного перепада уровня. По периферии озера распространены плавающие макрофиты, такие как водная лилия *Nymphaea nouchali*, *Nymphoides indica* и лотос *Nelumbo nucifera*, а также пузырчатка *Utricularia aurea* и харовые водоросли *Chara* sp. (Campbell et al., 2006). Вдоль береговой линии – плотные циновки из травяной растительности, прежде всего, семейства злаков и осок

В фитопланктоне выявлено 123 вида, в том.



**Рис. 3.3.** Ионный состав воды оз. Тонлесап и р. Меконг по данным Campbell et al. (2006).

числе 37 видов диатомовых, 34 - зеленых, 34 - сине-зеленых, 15 - эвгленовых водорослей, по одному виду желто-зеленых и золотистых водорослей и диннофлагелляты. В осенне-зимнем фитопланктоне доминируют диатомовые, представленные преимущественно *Melosira granulata*, многочисленны сине-зеленые (*Microcystis aeruginosa*). В летнем фитопланктоне преобладают зеленые и сине-зеленые (Campbell et al., 2006). Концентрация хлорофилла-а изменяется в пределах 0.3-20.0 (70) мкг/л, среднее значение - 4.5 мкг/л. Биомасса фитопланктона - 0.2-1.5 (3.2) мкгС/л, среднее значение 3.5 мкгС/л. Максимальная концентрация хлорофилла-а, также как и максимальная биомасса фитопланктона приходятся на конец меженного периода, март-апрель месяцы. Вместе с тем почти все ежегодное биологическое производство приходится на период наводнения из-за огромных масс воды в этот период (Sarkkula et al., 2004).

Данных по озерному планктону и бентосу достаточно мало. Nguyen and Nguyen (1991) выявил в озерном зоопланктоне 46 видов, среди них 7 видов веслоногих ракообразных (*Heliodiaptomus elegans* и *Diaptomus javanus*), 16 ветвистоусых рачков (*Diaphanosoma paucispinosum*), 23 коловратки (Campbell et al., 2006). O'Connog (2001) свидетельствует о 125 видах

зоопланктона и бентоса, среди которых ракообразные, моллюски, креветки, краб.

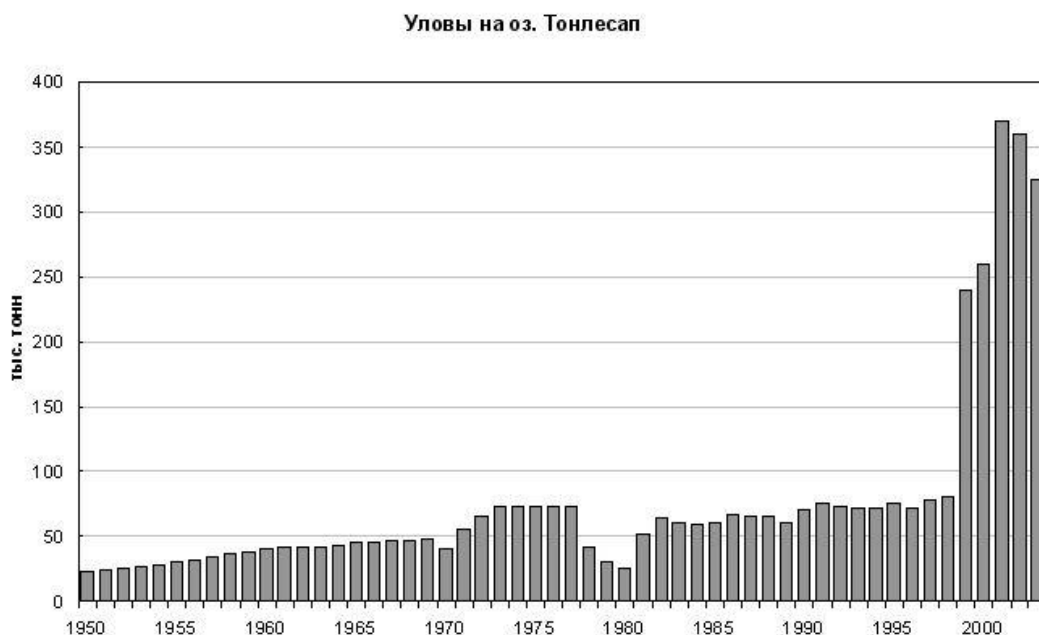
На озере обитает как минимум 149 видов рыб, принадлежащих к 35 семействам (Campbell et al., 2006). 70 видов имеют коммерческую ценность. Наиболее распространенные семейства - карповые (39%), сомовые (7%), отряд окунеобразных и сомообразных (9%). Среди распространенных видов - пангасиус, сельдь, весящая до 135 кг кошачья акула, серая акула, жалящий и пилорылый скат, угорь, анчоусы, а также представители вьюновых, горбылевых, скумбриевых, гурамиевых и иглобрюхих и др. Также многочисленны мидии. Многие виды мигрируют между озером и рекой. Рыбу озера Тонлесап принято делить на две группы: «черную», приспособляющуюся к почти бескислородным условиям поймы, и «белую», остающуюся в озере и ближайших затопленных лесах (Sarkkula et al., 2004).

Максимум рыбной продуктивности в озере приходится на лето, на период разлива р. Меконг. В условиях тропического климата здесь создается высоко продуктивная область, отличающаяся самыми высокими в мире уловами пресноводной рыбы (Sverdrup-Jensen, 2002). К концу сезона дождей большая часть рыбы уносится в реку. На сегодняшний день годовые уловы рыбы оцениваются в 230000



тонн (Matsui et al., 2006), что составляет около

60% от общего вылова по стране (Keskinen M.



**Рис. 3.4.** Официальная статистика уловов за 1950-2003 гг., по данным Lamberts, 2006.

2003). В тоже время уловы на р. Тонлесап составляют 12000 тонн/год (Campbell et al., 2006). Максимальный вылов, 360000 тонн, зафиксирован в 2002 г. (Sarkkula et al., 2004). Рыбная продуктивность озера при высоком уровне воды оценивается в 13900 – 19000 кг/км<sup>2</sup> (Lieng & van Zalinge, 2001). На рис. 3.4 приведена официальная статистика уловов за 1950-2003 гг. Необходимо отметить, что статистика до 1999 г. занижена, так как базировалась лишь на уловах крупных и средних рыболовецких хозяйств и не учитывала индивидуальный вылов, составляющий значительную долю от общих уловов.

Около озера зарегистрировано 23 разновидности змеи, большинство видов принадлежат к семейству ужеобразных, а также к цилиндрическим, бородавчатым, лучистым змеям, гадюковым, асидам и питонам (Campbell et al., 2006). Здесь обитает 13 разновидностей черепахи, однако большинство видов в последнее время стали крайне малочисленны. Также на озере живет одна аборигенная разновидность крокодила (*Crocodylus siamensis*), находящаяся под угрозой исчезновения. На смену аборигену завезены два вида-вселенца, активно выращиваемые на крокодиловых фермах.

Богатство рыбными запасами привлекает на озеро тысячи птиц, которые прилетают сюда

еще до наступления паводкового периода. На озере зарегистрировано более 100 видов водоплавающей птицы, из которых 14 находятся под угрозой исчезновения. Среди них: серый пеликан (*Pelecanus philippensis*), индийский и яванский марабу (*Leptoptilos dubius*, *Leptoptilos javanicus*), бенгальский флорикан (*Houbaropsis bengalensis*), змеешейка (*Anhinga*), большой подорлик (*Aquila clanga*), могильник (*Aquila heliaca*), сероголовый рыбный орел (*Ichthyophaga ichthyaetus*), индийский журавль (*Grus antigone*), черноголовый ибис (*Threskiornis melanocephalus*), ивис Дэвисона (*Pseudibis davisoni*), серый и индийский клювач (*Mycteria cinerea*, *Mycteria leucocephala*), азиатский ябиру (*Ephippiorhynchus asiaticus*), азиатский золотой ткач (*Ploceus hypoxanthus*) и камышовка (*Acrocephalus tangorum*) (Campbell et al., 2006).

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Тонлесап составляет 85620 км<sup>2</sup> (Sokhem et al., 2006), он определяется как площадь бассейна р. Тонлесап до ее слияния с р. Меконг, расположенной приблизительно на 100 км ниже границ озера в меженный сезон. Около 80000 км<sup>2</sup> водосбора принадлежат Камбоджи и включает 8 провинций страны и один муниципалитет, еще около

5000 км<sup>2</sup> принадлежит Таиланду. В силу недавних экономических и политических экспериментов Камбоджа является одной из беднейших стран Азии (Matsui et al., 2006), а бассейн оз. Тонлесап – одним из наиболее бедных районов страны. Внутренний Валовой Продукт (ВВП) на душу населения составлял в Камбодже на уровень 2009 г. - 2084 доллара/год, средний доход на душу населения - 805 долларов/год.

На водосборе оз. Тонлесап проживает около 4.5 млн. человек (Campbell et al., 2006), 1/3 из которых живет за чертой бедности. Темпы ежегодного прироста населения составляют от 2.5 до 4.8% (Keskinen M. 2003). Непосредственно вблизи озера и на нем живет 1.2 миллиона камбоджийцев, занятые преимущественно рыбной ловлей, здесь расположено около 160 коммун. Дома строятся на высоких сваях, чтобы в период разлива они не ушли под воду. Основное занятие населения, проживающего на заливаемых территориях и вдоль бассейна р. Тонлесап – сельское хозяйство, в нем занято около 70% жителей региона. При этом около 17% домашних хозяйств являются безземельными (Keskinen M. 2003).

Вблизи озера расположено 350000 га земель, пригодных для сельского хозяйства (Varis et al., 2006), обеспечивающего 12% общего урожая в стране (450000 тонн). Основная культивируемая культура – рис. Также в небольшом количестве выращиваются золотистая фасоль, овощи и дыни, под этими культурами занято лишь 600 га (Keskinen M. 2003). В условиях технической примитивности, сельское хозяйство крайне зависимо от природных условий (Matsui et al., 2006), что ведет к нестабильности урожаев, особенно в условиях выращивания монокультуры. Чрезмерные и слишком быстрые разливы губительны для урожая риса при системе его заливной культивации, наиболее распространенной среди беднейших слоев крестьянства. При отсутствии альтернативного заработка неурожай приводят к голоду и нищете. В последнее десятилетие различные международные организации проводят программы помощи Камбоджи, направленные в значительной степени на поощрение местных фермеров к выращиванию наряду с рисом и других культур, прежде всего зерновых.

Оз. Тонлесап обеспечивает 75% национального внутреннего производства рыбы Камбоджи. Слабое управление и плохая организация

производства приводят к низким прибылям. Особенно тяжело приходится мелким рыбацким хозяйствам, проигрывающим в конкурентной борьбе крупным. Нищета приводит к усилению конфликта индивидуальных и групповых интересов, столкновению интересов рыболовных товариществ и мелких фермеров. Рыболовы заинтересованы в осушении заливных территорий в маловодный сезон для сбора рыбы, тогда как фермеры нуждаются в сохранении воды, необходимой для произрастания риса. Слабое управление в условиях нищеты и расхождении интересов вызывает чрезмерную эксплуатацию природных ресурсов.

Наряду с сельским хозяйством и рыбной ловлей в регионе развивается туризм, из отраслей экономики – производство одежды. Из природных ресурсов добываются железная руда, марганец, фосфорная кислота, драгоценные камни, лес, развивается гидроэнергетика. Одежда, рис, рыба, лес, каучук, табак и обувь являются предметами экспорта Камбоджи.

#### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

Среди негативных явлений, наблюдаемых на оз. Тонлесап – сведение лесов, загрязнение, снижение рыбных запасов и численности рептилий, внедрение экзотических видов, техническое строительство и эрозия. На водосборе наблюдается активное сведение лесов, прежде всего, с целью расширения сельскохозяйственных площадей. Кроме того, дерево используются для обогрева жилищ, а также для создания западни для рыбы. Практически все домашние хозяйства обогреваются за счет древесины и древесного угля. В течение XX в в бассейне р. Меконг было вырублено 69 % первоначальных лесов. Согласно Woodsworth (1995) в 1930-е гг. леса занимали более миллиона гектар, в 1960-е – 614000, а к концу XX века – лишь 360000 га. Сведение лесов привело к деградации почвенного покрова, возросшей эрозии и потере сред обитания для разнообразной фауны. Недостаток знаний в области функционирования озерно-болотно-лесных экосистем в условиях субэкваториального климата, понимания механизма антропогенного воздействия на такие экосистемы, а также слабое управление и отсутствие соответствующих механизмов воздействия, являются причинами продолжающейся деградации уникальных биотопов.

Около 23% заливаемых земель вокруг озера

отданы под плантации риса. Активное развитие земледелия привело к большому количеству сельскохозяйственных стоков, обогащающих озерную воду биогенными веществами. Однако согласно мнению Sarkkula et al., (2004) к оз. Тонлесап в полной мере не применимо традиционное понятие эвтрофирования. Естественно высокий уровень первичного производства эффективно используется в пищевой цепи и ведет к увеличению урожайности рыбы. Обильных расцветов фитопланктона не происходит из-за быстрого его поедания зоопланктоном и рыбами-планктонофагами. Таким образом, увеличение биогенного притока, скорее всего, приводит к повышению рыбного производства без отрицательных побочных эффектов (Sarkkula et al., 2004).

Намного хуже на экологическом состоянии озера сказывается возрастающее использование в сельском хозяйстве химических удобрений и пестицидов, а также отсутствие обработки сточных вод. Большое количество загрязняющих веществ поступает в водоем с коммунальными стоками. При высокой плотности населения и значительных темпах его прироста коммунальные стоки становятся одним из важнейших бедствий для озера. Сточные воды, содержащие патогенные организмы, без какой либо обработки попадают в водоем, который обеспечивает питьевую воду для миллиона людей, расселившихся по его берегам. Обработка воды, используемой в питьевых и бытовых целях, фактически не производится. Это приводит к распространению кожных и желудочных инфекций, приводящих порой к смертельному исходу, в том числе среди детей.

Отрицательные последствия в озерной экосистеме вызывает нерегламентированное использование его биоресурсов. Из-за активного вылова в озере снизились рыбные запасы. Прежде всего, наблюдается исчезновение крупных репродуктивных особей. В уловах попадает все большее количество мелкой рыбы (Lamberts, 2006). Снижение рыбных запасов приводит к каскадному эффекту по всей трофической цепи, понижая численность рептилий, птиц и млекопитающих, обитающих вокруг озера. Из-за чрезмерного отлова падает численность эндемичной водной змеи. Данные, собранные в 1999, и 2000 гг. указывают, что в течение пика влажного сезона в день собиралось и продавалось более 8500 змей (Campbell et al., 2006).

Наряду со снижением численности аборигенной биоты, происходят инвазии, то есть внедрение экзотических видов. В озере и вокруг него зарегистрировано 12 новых видов. Среди растений это двое злаков: брахциария *Brachiaria mutica* и ежовник *Echinochloa stagnina*, агрессивный водный гиацинт и гигантская мимоза *Mimosa pigra*. Из рыб - коммерческие виды: толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), тилапия (*Oreochromis spp*) и карп (*Oreochromis spp*), среди рептилий – дальневосточная черепаха (*Pelodiscus sinensis*), а также разводимые на фермах эстуариевый и кубинский крокодил (*Crocodylus porosus*, *C. rhombifer*). Кроме того, в регион попала вредоносная для рисовых посевов золотая улитка (*Pomacea sp.*) (Campbell et al., 2006)

В бассейне р. Меконг в последнее десятилетие происходило активное гидротехническое строительство, направленное, прежде всего, на получение гидроэнергии. Ряд плотин уже построен, ряд находится в процессе конструкции. 7 или 8 плотин строятся на территории Китая, в том числе несколько крупных. Гидроэнергетика предполагает изменение внутригодового режима р. Меконг, увеличение минимального и снижение максимального стока. В результате можно ожидать значительное изменение гидрологического режима оз. Тонлесап - паводковые разливы на озере должны уменьшиться, а меженный уровень вырасти. Согласно модельным расчетам (Halsgow, 2004) снижение составит 0.4 м, а рост уровня в сезон межени – 0.3 м. Площадь разлива озера может сократиться на 11%, что скажется как на сельском хозяйстве, так и на рыболовстве (Sarkkula et al., 2004). Кроме гидроэнергетического строительства планируется переброска стока в верховьях реки Меконг. Ее цель направить поток в бассейн Менам-Чао-Праи для дальнейшего использования воды на орошение сельскохозяйственных полей в Таиланде. Предполагается, что снижение расхода воды в средней и нижней части реки будет незначительным.

Еще одной проблемой на водосборе озера является эрозия. Согласно национальным оценкам, выполненным в середине XX в. (Bardach, 1959, Carbonnel and Guiscafre, 1963, и др.) оз. Тонлесап должно быстро заилиться. В водоем ежегодно поступает 8.6 млн. тонн осадка (77.9% от р. Меконг и 22.1% с притоками). Вынос составляет 3.8 млн. тонн, таким образом, в озере и на заливаемой части поймы



остается 4.8 млн. тонн осадка. Однако произведенные недавно палеоолимологические и модельные исследования (Tsukawaki, 1997, Penny, 2002) показали, что отложение осадка на озере находится на уровне 0.1-0.16 мм/год приблизительно уже около 5500 лет. Значительная часть ила оседает не в озере, а на затопляемых землях, где используется растительностью (Matsui et al., 2006). Таким образом, угроза заиления водоема, по мнению большинства ученых, отсутствует, напротив, ил является важной частью озерной экосистемы, обеспечивающей питательную среду. Между тем, некоторые ученые (Csavas, 1994, Bruce and Tola, 2002) обращают внимание на тот факт, что в связи со сведением лесов и развитием горнодобывающей промышленности на водосборе, скорость заиления должна увеличиваться. Так, Csavas (1994) указывает на рост скорости осадконакопления в юго-восточной части озера. При отсутствии точных данных за последние десятилетия, окончательный вывод о влиянии происходящих на водосборе изменений на скорость заиления пока делать рано. Однако, необходимо учитывать, что заиление нижней части р. Тонлесап может сократить приток воды из Меконга и отразиться на ежегодных миграциях рыбы. В тоже время снижения поступления ила, являющееся, например, следствием гидротехнического строительства на р. Меконг, приведет к снижению рыбной продуктивности.

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

С начала 1990-х годов на проблемах оз. Тонлесап сконцентрировано внимание властей Камбоджи, а с 1997 г. озеро попало под особое внимание ЮНЕСКО, когда оно стало сайтом программы "Человек и биосфера" (Keskinen M. 2003). Озеро предложено также включить в список Рамсарских охраняемых территорий. В 2001 г. Королевским Указом был учрежден биосферный заповедник Тонлесап, включающий как само озеро, так и часть поймы - пресноводный болотно-лесной экорегиион вокруг озера в границах разлива р. Тонлесап в сезон летних муссонов. Охране, прежде всего, подлежит озеро с его богатейшим птичьим населением и рыбными запасами, а также произрастающие в регионе уникальные галерейные леса. Заповедник разделен на три зоны - основную, буферную и переходную. Площадь каждой из них составляет, соответственно, 42300, 541000 и около 900000 га. Основная

зона предполагает строгую охрану, в переходной зоне производится устойчивое управление водными ресурсами, а в буферной управление должно совмещаться с охранными мероприятиями. Однако, на сегодняшний день, степень защиты озера пока недостаточная, и браконьерство, прежде всего незаконный лов рыбы, остается серьезной проблемой даже для основной зоны (Matsui et al., 2006).

В 2003 г. была сформулирована стратегия управления ресурсами оз. Тонлесап, одновременно направленная как на поддержание его водных и биологических ресурсов, так и на борьбу с нищетой в Камбодже. Проект Управления Экологическим Состоянием оз. Тонлесап был рассчитан на 10 летний период. Стратегия управления включает: усиление координации управления водными ресурсами и планирования; организацию местных общин с целью их привлечения к управлению; разработку действенных механизмов и систем контроля, способных поддержать биологическую вариативность. В рамках проекта необходимо добиться рационального использования природных ресурсов в области земельного, лесного и рыбного хозяйства. Важнейшей задачей является борьба с нищетой без чего практически невозможно решение других вопросов. Проект будет финансироваться как правительством Камбоджи, так и рядом международных организаций и фондов, Глобальным экологическим фондом, ООН. Азиатским Фондом Развития на проект было выделено 15 млн. долларов. Активную, в том числе финансовую, поддержку программы оказывает правительство Финляндии. На полученные деньги предполагается в ближайшие сроки наладить очистку сельскохозяйственных стоков и очистку воды, используемую для питья. Кроме того, необходимо создать законодательство, регламентирующее лов рыбы, которое должно приостановить практику истощения рыбных запасов озера. В долгосрочной перспективе планируется восстановление лесных массивов. Предполагается, что создаваемая система управления ресурсами к 2020 г. начнет эффективно функционировать, позволяя восстановить окружающую среду и обеспечить сохранение биологической вариативности.

Происходящие в последние десятилетия изменения на озере Тонлесап свидетельствуют о сверхэксплуатации ресурсов как самого озера, так и вокруг него. Без срочной реализации Проекта Управления Экологическим Состоя-

нием озера, происходящие негативные изменения могут стать критическими для его уникальной экосистемы.

### 3.2. ОЗЕРО ДОНГТИНГ (ДОНГТИНГХУ, ДУНГТИНГХУ, ДУНТИНХУ)

Озеро Донгтинг (Донгтингху, Дунгтингху, Дунтинху) - большое мелководное озеро, расположенное на северо-востоке пров. Хунань, на левом берегу р. Янцзы, в ее среднем течении (рис. 3.5). Координаты озера - 28°18'-29°45'с.ш.; 111°35'-113°18'в.д. (Yinxin, 2006), урез воды находится на высоте 33.5 м над уровнем моря.

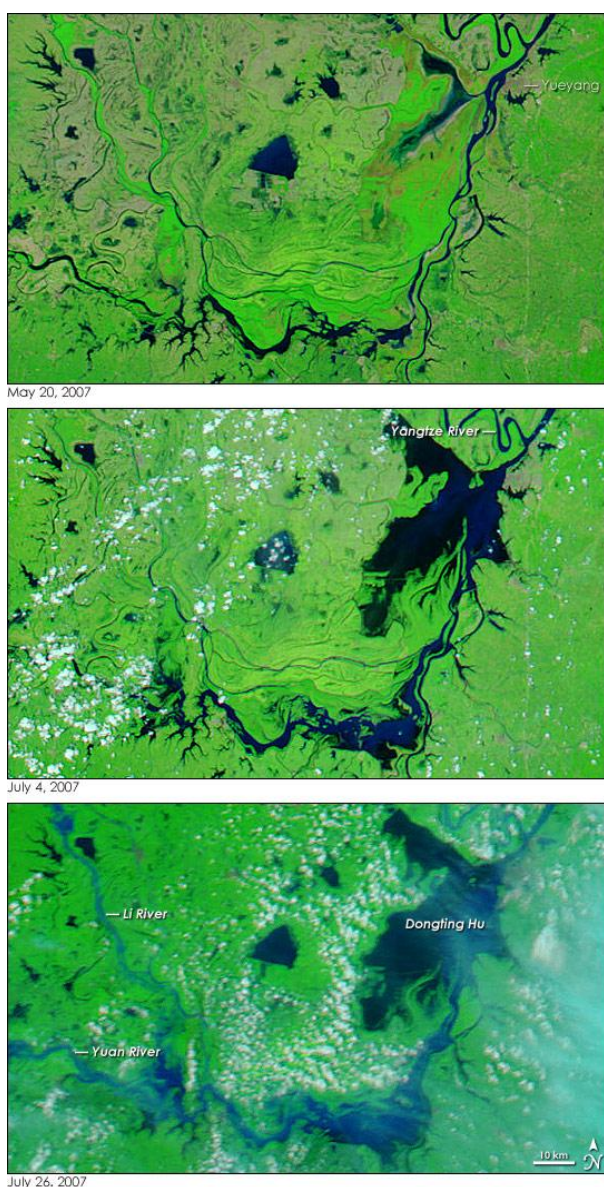


Рис. 3.5. Озеро Донгтинг. Фото NASA.

Происхождение озерной котловины – тектоническое. Она возникла в период Яньшаньского геологического процесса в мезозойскую эру.

Северо-западная часть бассейна поочередно то повышалась, то понижалась, чередуя морскую и наземную эпохи развития, тогда как юго-восточная часть практически не опускалась. Гималайская складчатость привела к погружению пород третичного возраста и расширению бассейна - четыре реки Сянцзян, Зи, Юань и Ли принесли свои воды в бассейн Янцзы, приведя к формированию группы озер (Jianqiang et al., 1995). С конца плейстоцена преобладали нисходящие движения коры, приводящие к расширению бассейна. Современное озеро Донгтинг было сформировано при повышении уровня океана в начале голоцена (Dai et al., 2005).

В зависимости от климатических условий площадь оз. Донгтинг на протяжении своего существования существенно изменялась. На рис. 3.6 показаны колебания его площади за последние 2000 лет. В течение большей части истории Китая оз. Донгтинг являлось самым крупным пресноводным водоемом Китая. Еще сто пятьдесят лет назад площадь его водного зеркала составляла 6200 км<sup>2</sup>, однако быстро прогрессирующее отложение осадков и работы по реclamation земель значительно сократили его размер, и в середине XX в. оно уступило первенство оз. Поянху. В результате в китайской научной литературе со второй половины XX в. оз. Донгтинг называют вторым по величине пресноводным водоемом Китая. К концу XX в. его площадь составляла 2681 км<sup>2</sup> (Li et al., 2007). На рубеже XX и XXI веков, после того как с 1998 г. в Китае вступила в действие правительственная программа по возвращению земель, ранее отторгнутых у озера на сельскохозяйственные нужды (Peng et al., 2005), акватория оз. Донгтинг стала вновь увеличиваться. И в сухой и в паводочный сезон оно опять превосходит по площади оз. Поянху, однако уступает ему по объему заключенной воды. По данным на 2001 г. площадь оз. Донгтинг составляла 2950 км<sup>2</sup>, средняя глубина - 6.7, а максимальная - 30.8 м, объем заключенной воды - 17.8 км<sup>3</sup>. В ближайшие годы благодаря программе по возвращению рекламированных земель ожидается восстановление площади озера в зимний сезон до 4350 км<sup>2</sup> (Li, et al., 2007).

Озеро Донгтинг имеет большой водосборный бассейн, включающий весь Хунань и часть соседних провинций Хубэй, Сичуань, Чжучжоу. Рельеф слабо холмистый. Основную часть бассейна занимают сельскохозяйственные земли. Естественная растительность

Изменение площади водного зеркала оз. Донгтинг

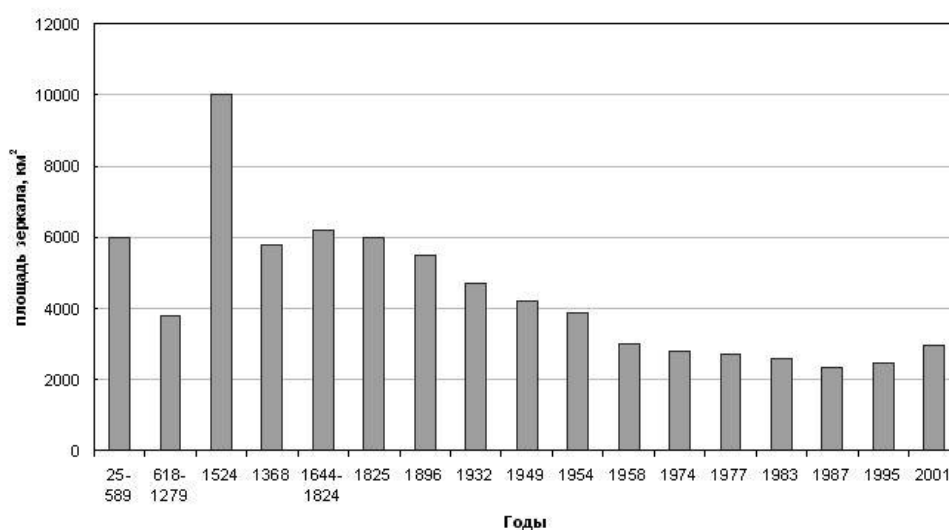


Рис 3.6. Изменение площади водного зеркала оз. Донгтинг на протяжении последних 2000 лет по данным: Wang et al., 1998, Chen and Yang, 2000, Zhou, 2001.

представлена буковыми и сосновыми лесами. Широкое распространение имеют дубовые, лавровые, чайные, рутовые, бобовые, злаки, астровые, молочайные, розовые, рдестовые и кувшинковые. Встречаются искусственные лесонасаждения, прежде всего из хвойных пород.

В сухой сезон озеро представлено тремя более или менее отдельными бассейнами: Западным, Южным и Восточным Донгтинг; некоторые авторы также выделяют Северное озеро и оз. Датонг. Самым крупным бассейном является Восточное Донгтинг, площадь которого составляет по данным Jianqiang et al., 2005 - 1478 км<sup>2</sup>, оно обладает наиболее богатой биологической вариативностью, прежде всего разнообразной орнитофауной. Значительная область воды, пляжи и разнообразие природных ресурсов создают благоприятную среду обитания многих исчезающих видов, недаром Восточное Донгтинг считается «зоологической жемчужиной среднего течения реки Янцзы». Южное Донгтинг имеет площадь водного зеркала 917 км<sup>2</sup>, славится живописностью своих берегов, также как и Восточное Донгтинг отличается богатой биологической вариативностью и благодаря множеству обитающих здесь водоплавающих птиц, в том числе редких видов, относится к важнейшим охраняемым болотно-озерным угодьям. Площадь Западного Донгтинг около 345 км<sup>2</sup>, это наиболее глубокий бассейн с глубинами до 29-31 м (Jianqiang et al., 1995).

Вода из р. Янцзы течет преимущественно в Западное и Восточное озера через три канала и дренируется из северо-восточной оконечности Восточного озера обратно в р. Янцзы. В летний паводковый сезон все озера, составляющие оз. Донгтинг, объединяются в единый водоем с площадью зеркала от 3900 км<sup>2</sup> и более, в зависимости от водности года. Общий объем воды в озере оценивается в 17.8 км<sup>3</sup>.

#### **История заселения и роль озера в жизни окружающих народов**

Активное заселение бас. р. Янцзы началось во втором тысячелетии до н.э. Район озера Донгтинг начал активно осваиваться со времен династии Хань (206 г. до н.э. – 200 г. н.э.), его заливаемые берега представляли большой интерес для фермеров. Уже в 1-ом тысячелетии н. э. вдоль Янцзы стали строить набережные, сдерживающие ее в пределах русла в периоды подъема уровня. Для разлива реки предоставлялись южные земли около озера, которые, в результате принесения сюда богатого биогенными веществами осадка, отличались очень высоким плодородием.

Озеро Донгтинг играет важную роль в жизни и экономике пров. Хунань. Его вода используется для питьевых целей, на нужды коммунального хозяйства, промышленности, орошения. Озеро богато своими рыбными запасами, уловы составляют от 15000 до 70000 метрических тонн, а также тростником, распростра-



Среднегодовое параметры климата, оз. Донгтинг

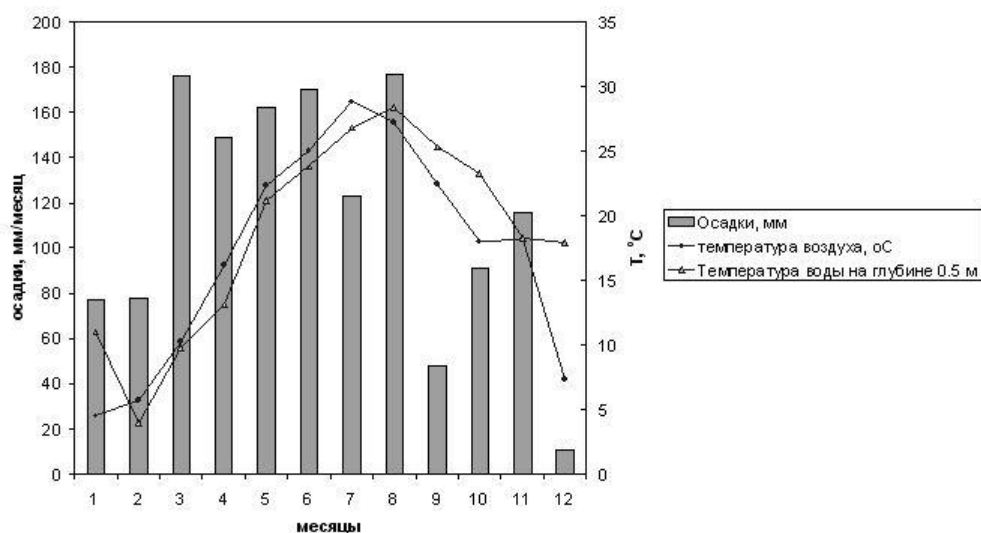


Рис. 3.7. Среднегодовое данные по осадкам и температуре воздуха на ст. Yuanjiang, и температура воды на ст. Chenglingji по данным ILEC.

нившимся на площади около 60000 га и дающим урожай до 565400 тонн (Jianqiang et al., 1995). Здесь активно развит речной и озерный транспорт. Озеро играет важную рекреационную роль. Кроме того, оно является естественным регулятором стока р. Янцзы. Район озера Донгтинг часто упоминается в истории и литературе Китая. Оно известно в китайской культуре как место возникновения праздника драконьих лодок. Утверждается, что гонки на лодках-драконах зародились на восточном берегу озера как праздник в честь памяти поэта Цюй Юаня (340—278 до н. э.), покончившего жизнь самоубийством в одном из притоков озера. Расположенный в центре озера остров Цзюньшань служил ранее даосским местом уединения, а также знаменит своим сортом жёлтого чая.

**Климат. Характеристики термического режима**

Климат региона переходный от средне к северно-субтропическому муссонному с очевидными чертами континентальности в отдельные сезоны. Значительную часть года преобладает влажная и теплая погода, однако присутствуют периоды, когда в регион прорываются холодные воздушные массы с севера. Весной и в первой половине лета температура воздуха подвержена периодическим колебаниям. С середины августа до конца октября устанавливается солнечная погода с небольшим коли-

чеством дождей. Среднегодовая температура воздуха изменяется в пределах бассейна от 16.4 до 17°C (Jianqiang et al., 1995). Наиболее холодный месяц январь (средние температуры 4-4.5°C), самый теплый – июль (29-30°C). Годовое количество осадков от 1200 до 1400 мм. Основное их количество (от 40 до 50%) выпадает с марта по июнь. Осенне-зимние месяцы характеризуются небольшой влажностью (Рис. 3.7).

**Характеристики водного режима и водного баланса**

На поверхность оз. Донгтинг за год выпадает в среднем 1279 мм осадков (Jianqiang et al., 1995) что эквивалентно 19.3 км<sup>3</sup>/год. С речным стоком поступает 312.6 км<sup>3</sup> воды в год. Основное питание приносят реки Янцзы, Сянцзян, Зи, Юань и Ли, причем на долю Янцзы приходится около 2/5 притока (118 км<sup>3</sup>/год). Осредненная величина испарения составляет 745 мм (11.2 км<sup>3</sup>).

Для озера характерны значительные изменения уровня воды в течение года, составляющие 6.5 м на Западном озере и 17.8 м на Восточном. Озеро характеризуется относительно низким уровнем воды в прохладный сезон, продолжающийся с середины осени по середину весны. С апреля, за счет последовательного прохождения паводков на питающих его реках, уровень начинает повышаться. Паводок начинается на

небольших реках, где он происходит с апреля по июль (Li et al., 2003). Максимальный паводок на р. Янцзы приходится на июль-август, максимальные значения уровня наблюдаются также во второй половине лета. Наиболее раннее время формирования паводка на Янцзы - май, а наиболее позднее – октябрь. В годы, когда происходит совпадение по времени паводка на большинстве рек, происходят катастрофические наводнения. Отток из озера происходит по р. Янцзы и составляет около  $300 \text{ км}^3$  воды в год. Площадь озера Донгтинг, составлявшая в конце XX века в зимний сезон  $2690 \text{ км}^2$  и в летний –  $3900 \text{ км}^2$ , в периоды катастрофических наводнений могла увеличиваться до  $20000 \text{ км}^2$ . Минимальная площадь озера наблюдавшаяся в XX в. составляла  $1659 \text{ км}^2$  (Li et al., 2003)

Низинные районы вокруг оз. Донгтинг окружены огромной дамбой, состоявшей до 1998 г. из 228 набережных, и имеющей высоту поверхности озера, 33.5 м. Без дамбы громадная область ниже озера в периоды наводнений могла бы быть полностью залита. Периодически при сильных наводнениях возникает угроза прорыва плотин, сдерживающих воду в озерной чаше. До 1911 г. наводнения на р. Янцзы происходили в среднем 1 раз в десятилетие, за 2200 лет их было 214 (Li et al., 2007). Из-за сокращения акватории озера и его заполнения наносами регулирующая роль озера снизилась и, наводнения стали более частыми и серьезными. Объем воды р. Янцзы, аккумулирующейся в озере в период паводка (объем притока минус объем оттока) только с 1950 по 1980 гг. уменьшился в два раза. В 1950-е гг. паводочный пик после прохождения через озеро сокращался на 31.5%, в 1970-е гг. – на 27.7%, в 1980-е гг. – лишь на 15.6% (Jianqiang et al., 1995).

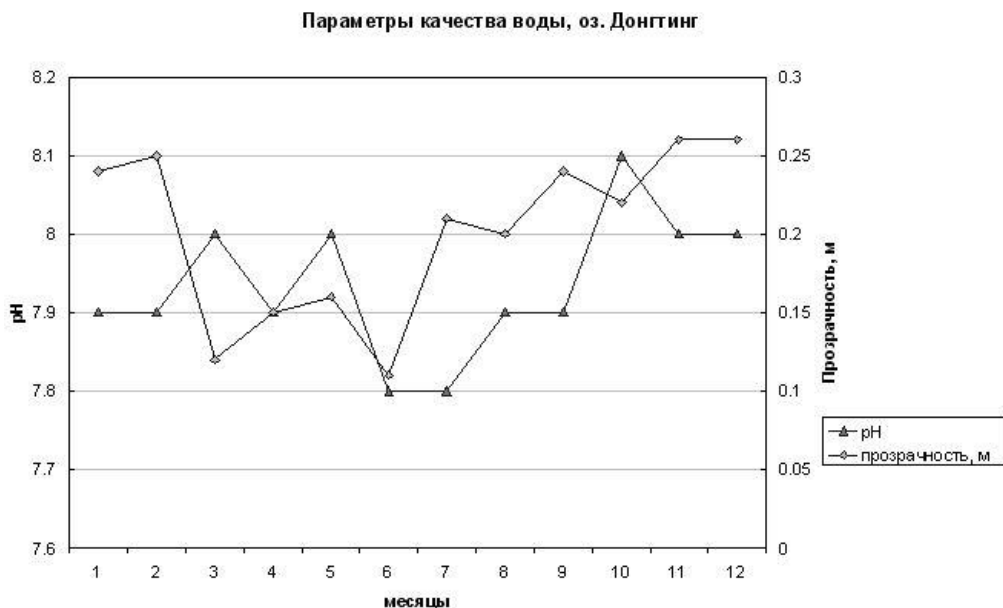
В течение XX века наблюдалось 5 катастрофических наводнений, затронувших регион вокруг оз. Донгтинг. В конце 1990-х гг. наводнений стало еще больше (Zhang et al., 2006). В 1995 и 1996 гг. произошло затопление сдерживающей реку дамбы. Катастрофические подъемы уровня наблюдались также в 1998 и 1999 гг. Во время наводнения 1998 г. погибло более четырех тысяч человек и около четырехсот тысяч остались без крова. После этого, сдерживающие воду плотины существенно укрепили, так что они смогли выдержать катастрофическое наводнение 2002 г. (рис. 3.8).

Разливы воды Янцзы причиняют огромный ущерб местной экономике, причем, по мере развития бассейна, его размер становится все больше. Так, экономический ущерб от наводнения 1998 г. оценивается в 737 млн. долларов США. Наряду с материальным ущербом наводнения могут приводить к резкому ухудшению экологической обстановки. После наводнения на реке Янцзы в конце июня 2007 года около 2 млрд. мышей были вынуждены покинуть острова озера. Мыши разбежались по окрестностям, и повредили большое количество урожая, прежде всего зерновых. После уничтожения мышей их разлагающиеся тела еще долго отравляли местность, вызывая серьезную эпидемиологическую опасность.



**Рис. 3.8.** Катастрофическое наводнение 2002 г., фото NASA, сентябрь и март.

Вопросом, активно обсуждаемым в последние годы, является изменения режима озера Донгтинг, связанные со строительством дамбы «Три Ущелья» на р. Янцзы. Изменения наблюдаются уже с 2003 г., со времени завершения строительства плотины и начала заполнения водохранилища. После 2010 года ожидается ввод дамбы в эксплуатацию. Предполагается, что дамба позволит сократить пиковые паводки, так что экономика региона, наконец, перестанет нести ущерб от катастрофических наводнений (Li et al., 2007).



**Рис. 3.9** Среднегоголетние данные по качеству воды оз. Донгтинг по данным ИЛЕС.

**Основные характеристики качества вод**

Вода оз. Донгтинг характеризуется невысокой минерализацией, электропроводность составляет в среднем 184  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , наиболее низкие ее значения наблюдаются в феврале (153  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), наиболее высокие – в августе (225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Jianqiang et al., 1995). В силу высокой мутности, прозрачность воды низкая, 0.1-0.25 м. Реакция среды слабо щелочная, рН составляет

7.7-8.1 (рис. 3.9). Несколько более высокие значения (около 8.0) характерны для Восточного Донгтинг. Жесткость воды небольшая, 5.5-6.3 мг/л. Концентрация растворенного кислорода у поверхности в летние месяцы около 8 мг/л, в зимние – 11-13 мг/л. Концентрация  $\text{NH}_4\text{-N}$  - 0.1-0.4 мг/л,  $\text{NO}_3\text{-N}$  – 0.3-0.45 мг/л (рис. 3.10).



**Рис. 3.10.** Концентрация кислорода и биогенных веществ в оз. Донгтинг по данным ИЛЕС



### Основные биологические особенности

Озеро Донгтинг характеризуется чрезвычайным богатством высшей водной растительности. Здесь насчитывается 77 видов, которые представляют 32 семейства и 59 родов (Jianqiang et al., 1995). Среди них - воздушно-водные макрофиты: веерник (*Miscanthus sacchariformus*), тростник (*Phragmites communis*), цицания (*Zizania caduciflora*), болотница (*Eleocharis caduciflora*), камыш (*Scirpus triquetus*), перечный горец (*Polygonum hydropiper*); плавающие: альтернатера (*Alternanthera philoxeroides*), рогоз (*Typha orientalis*), лотос Комарова (*Nelumbo nucifera*), пистия (*Pistia stratiotes*), эвриала (*Euryale ferox*), болотноцветник (*Nymphoides peltatum*); погруженные: рдест (*Potamogeton crispus*, *Potamogeton malainus*, *P. distinctus*), гидрилла (*Hydrilla verticillata*), роголистник (*Ceratophyllum demersum*), уруть (*Myriophyllum spicatum*), валлиснерия (*Vallisneria spiralis*), ряска (*Lemna minor*). Растительность обильно распространяется по всему водоему, образуя несколько ассоциаций в виде концентрических окружностей, сужающихся от побережья к его центру. Плотность макрофитов - 66 гр/м<sup>2</sup> (NIRAJ, 1984).

В озере насчитывается 161 вид фитопланктона, принадлежащий 8 типам, 30 семействам, 72 родам (Jianqiang et al., 1995). Наиболее представительны диатомовые водоросли, которых насчитывают 75 видов, 58 - зеленых, 21 - сине-зеленых, по 2 криптофитовых, желто-зеленых, динофлагеллят, золотистых и эвгленид (Yinxin, 2006). Доминантными видами являются: *Microcystis*, *Eudorina*, *Asterocapsa*, *Pandorina*, *Pediastrum*, *Cosmarium*, *Melosira*, *Navicula*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Surirella*, *Cymbella* (Jianqiang et al., 1995). Большую часть года (за исключением летнего сезона) в Западном и Южном озере преобладают диатомовые, в Восточном озере многочисленны сине-зеленые. Средняя численность фитопланктона в Восточном озере составляет 112000 (82000-164000) экз./л., а в Южном - 183000 экз./л. (Jianqiang et al., 1995). Наибольшая концентрация фитопланктона наблюдается в мае и сентябре. Средняя концентрация хлорофилла-а составляет 0.42-0.51 мкг/л.

Численность зоопланктона в Восточном озере составляет 1910-5700 экз./л. Доминируют коловратки (1200-4600 экз./л), численность веет-вистоусых рачков и веслоногих ракообразных составляет 60-430 и 10-190 экз./л,

соответственно. В Южном озере средняя численность зоопланктона - 2163 экз./л, среди них коловраток - 1345 экз./л. В Западном озере - 1954 экз./л и 1136 экз./л, соответственно. Наиболее распространенными видами являются: *Arcella*, *Diffugia*, *Epistylis*, *Asplancha*, *Brachinous*, *Keratella*, *Polyarthra*, *Diaphanosoma*, *Cyclops* и *Nauplius*. Максимум численности приходится на июль-октябрь (Jianqiang et al., 1995).

В озере насчитывается 112 видов бентоса из которых 57 принадлежат к водным насекомым, 35 - к моллюскам, 12 - к малощетинковым червям. Наиболее распространенными видами являются: *Cryptochirochomus digitatus*, *Polypedilum sealaenum*, *Clynotanypus* sp., *Cryptochirochomus pascimanus*, *Brabchiura sowerbyi*, *Corbiculidae Fluminea*, *Limnoperna Laenstris*, *Ephemera* spp., *Ceratopogonidae*, *Neureclipsis*, *Bellamya aeruginosa*, *B. purificata*, *Vivlaria auriculata*. Плотность водных насекомых наиболее высокая в Западном озере - 374 /м<sup>2</sup>, в Восточном озере она составляет 16 /м<sup>2</sup>. Плотность брюхоногих моллюсков составляет в Западном и Восточном озерах - 60 и 8/м<sup>2</sup>, а двустворчатых моллюсков - 580 и 8/м<sup>2</sup>, соответственно (Jianqiang et al., 1995).

В озере обитает 114 видов рыб, принадлежащих к 11 отрядам и 22 семействам (Jianqiang et al., 1995). Здесь проживают представители семейства анчоусовых (*Coilia ectenes*), многочисленные представители семейства карповых: черный амур (*Mylopharyngodon piceus*), белый амур (*Stenopharyngodon idellus*), белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), карп (*Cyprinus carpio*), пестрый толстолобик (*Aristichthys nobilis*), амурский лещ (*Megalobrama* spp), золотая рыбка (*Carassius auratus*), чернобрюшка (*Xenocypris argentea*), желтощека (*Elopichthys bambusa*), черный амурский лещ (*Megalobrama* sp), семейства перцихтовых - китайский окунь (*Siniperca* spp.), семейства осетровых - осетр (*Acipenser sinensis*) и речной угорь (*Anguilla japonica*). Рыбная продуктивность составляет 70000 метрических тонн. Происходит постепенное уменьшение экономически важных и миграционных форм рыбы, и увеличение не мигрирующих рыб. (LBRI&ILECF, 1988)

В бассейне озера насчитывается 303 вида птиц, в т. ч. черный аист (*Ciconia nigra*), мандаринка (*Aix galericulata*), нырок Бэра (*Aythya baeri*), четыре вида журавля, включая серый (*Grus vipio*), дрофа (*Otis tarda*), египетская цапля

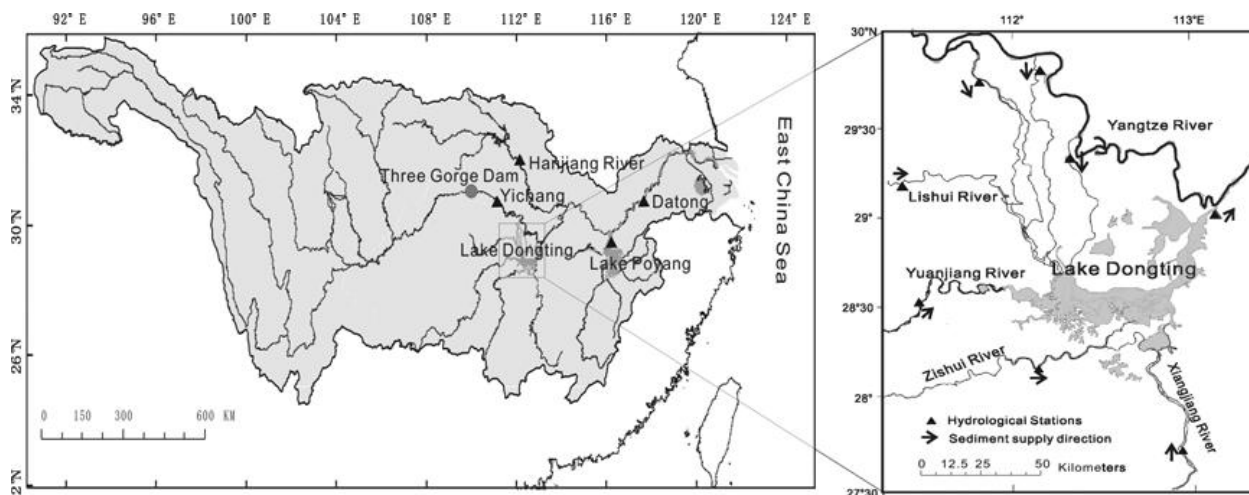


Рис. 3.11. Бассейн р. Янцзы (источник: Dai et al., 2005)

(*Bubulcus ibis*), малая и средняя белые цапли (*Egretta garzetta*, *E. intermedia*) малая паганка (*Tachybaptus ruficollis*), большая и черношейная поганки (*Podiceps cristatus*, *P. nigricollis*), обыкновенная колпица (*Platalea leucorodia*), американский лебедь (*Cygnus columbianus*), гуменник (*Anser fabalis*), серый гусь (*A. anser*), огарь (*Tadorna ferruginea*), лысуха (*Fulica atra*) Многие птицы находятся под государственной защитой. Среди редких видов – стерх (*G. leucogeranus*), черный журавль (*G. monacha*), даурский журавль (*G. grus*), чешуйчатый крохаль (*Mergus squamatus*), кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*), черноклювый аист (*C. ciconia boyciana*). Большое количество перелетных птиц прибывает на озеро в сезон миграции, когда уровень воды минимален и часть акватории превращается в водно-болотные угодья.

#### Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне

Площадь водосбора оз. Донгтинг составляет 262800 км<sup>2</sup> (Jianqiang et al., 1995) из которых 78% находится в пров. Хунань. Горные хребты на востоке являются водоразделом между бассейнами оз. Донгтинг и оз. Поянху, горные хребты на юге отделяют бассейн оз. Донгтинг от бассейна р. Чжуцзян (Жемчужная), и горные хребты на западе – от бассейнов притоков Янцзы - рек Ву и Кинг (рис. 3.11). Водосбор озера плотно заселен, здесь проживает около 15 млн. человек. На протяжении большей части истории основным занятием местных жителей было сельское хозяйство и рыбная ловля. Среди выращиваемых культур: рис, хлопок, джут и др. Площади орошаемых земель составляет 965 тыс. га. В течение столетий водные ресурсы озера активно использовались для

орошения, в конце XX в. на орошение из озера изымалось 10.6 км<sup>3</sup> воды/год (Jianqiang et al., 1995). Часть сельскохозяйственных площадей представляют собой рекультивированные земли.

Со второй половины XX в. в регионе активное развитие получила промышленность, в том числе текстильная, химическая, целлюлозная, пищевая, а также машиностроение, электроника, металлоплавление и др. Озеро используется как источник воды для коммунального и промышленного водоснабжения, для целей рыболовства, навигации (2-3 млн. пассажиров в год; грузоперевозки 15-19 млн. тонн/год) и туризма.

#### Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью

Развитие сельского хозяйства на водосборе оз. Донгтинг и активное применение удобрений вызвало существенное повышение содержания в воде биогенных веществ, ставшее наиболее заметным за последние двадцать лет. Содержание общего азота в озерной воде составляет более 1000 мкг/л, его наиболее высокие значения (1300 мкг/л) наблюдаются в Восточном озере, наиболее низкие (1040 мкг/л) – в Южном. Больших величин достигают в заливах и концентрации общего фосфора, его максимальные значения отмечались в Западном озере и составляли до 190 мкг/л, в Восточном их значения поднимались до 104 мкг/л, а в Южном – до 81 мкг/л (Jianqiang et al., 1995). Наряду с повышением трофности особую опасность представляет загрязнение воды пестицидами. Пестициды применяются для повышения урожая, борьбы с сельскохозяйственными вредителями, а также используются для предотвращения размножения брюхоногих

моллюсков, передающих шистосомоз. Оз. Донгтинг относится к числу китайских водоемов, в воде которых развиваются возбудители шистомоза - трематоды семейства шистоматид (*Schistosomatidae*). Шистосомоз очень опасное заболевание, промежуточными хозяевами трематод являются брюхоногие моллюски. Яйца, попадая в ткани моллюска, развиваются там, после чего из моллюсков выходят свободноживущие церкарии, внедряющиеся в кожу человека, животных или птиц. Согласно Jianqiang et al. (1995) с 1990 по 1995 гг. для борьбы с брюхоногими моллюсками было использовано 16560 тонн хромсодержащих детергентов и около 10000 тонн пентахлорфенолята натрия ( $C_6Cl_5ONa$ ). Кроме того, количество пестицидов применяемых в Китае для повышения урожая составляло около 750 кг/га земли. В результате, в 1990-е гг. средняя концентрация органохлоринов в воде оз. Донгтинг составляла 12 мкг/л, а ДДТ – 0.05 мкг/л. В дальнейшем интенсивность применения пестицидов заметно снизилась, были запрещены органохлорины, однако опасность отравления пестицидами остается и сегодня. Содержание ДДТ в рыбе в сотни и тысячи раз превышает ее концентрацию в воде (Jianqiang et al., 1995). Высокое содержание пестицидов, в том числе органохлоринов, отмечается в донных осадках.

Быстрое индустриальное развитие во второй половине XX в. вызвало локальное загрязнение рек и небольших прилегающих озер тяжелыми металлами и органическими загрязнителями. Основными загрязняющими производствами явились предприятия химической, целлюлозно-бумажной промышленности и книгопечатание. Наиболее выражено загрязнение воды ионами аммония и фенолами (Jianqiang et al., 1995). В озерной воде и, прежде всего, в донных осадках повысилось содержание таких токсичных элементов, как ртуть, кадмий, хром, мышьяк, свинец, фенолы, цианиды, сульфиды и др. Наиболее высокое содержание тяжелых металлов (исключая ртуть) наблюдается в донных отложениях Восточного озера, куда они приносятся с водами р. Сянцзян и Зи. Самое высокое содержание ртути в донных отложениях устья р. Юань (Jianqiang et al., 1995).

Кроме сельскохозяйственного и промышленного загрязнения, значительное загрязнение воды происходило также из-за активного судоходства на водоеме. Хоть

основное озеро Донгтинг и продолжает на сегодняшний день сохранять в целом приемлимое качество воды и мезотрофный уровень, многие его районы находятся на стадии перехода к эвтрофному состоянию. Наиболее сильное загрязнение и высокий уровень трофности наблюдается в Западном Донгтинг, в которое поступает наибольшее количество стоков, прежде всего от предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Периодически, некоторые его заливы испытывают значительный дефицит кислорода, что приводит к заморным явлениям (Jianqiang et al., 1995). Наименьшее загрязнение - в Восточном Донгтинг, Южное Донгтинг по качеству воды занимает промежуточное положение. Самая неблагоприятная экологическая обстановка на озере наблюдалась в 1999, 2004 и 2006 гг. В 1999 г. проблемы были вызваны высоким поступлением общего фосфора. Ухудшение качества 2004 г. было обусловлено быстрым строительством на берегах озера - в связи с заселением только построенного жилья недостаточно очищенные коммунальные стоки привели в первое время к существенному загрязнению воды по ряду показателей, однако ситуация была достаточно быстро исправлена. В 2006 г. причиной ухудшения качества воды явился очень низкий приток по Янцзы, составивший всего 18.3 км<sup>3</sup> (Li et al., 2009).

Исторически оз. Донгтинг играло огромную роль в регуляции бюджета наносов в бассейне р. Янцзы. Значительное их количество аккумулируется в озере, что снижает нормы осадконакопления ниже по течению р. Янцзы. На протяжении голоцена нормы осадконакопления в озере составляли около 1/3 от общего количества осадков, выносимых р. Янцзы в море. При этом для самого озера осадконакопление представляет большую экологическую проблему. Оно является причиной неприятностей для водного транспорта, сокращает объем озера, его аккумулирующую способность в паводочный сезон и воздействует на рыбную продуктивность через изменения в аквасистеме.

Согласно Dai et al (2005) в течение голоцена в озеро ежегодно поступало от 50 до 80 млн м<sup>3</sup>/год осадков. В период 1934-1936 и 1951-1964 гг. 4 основных притока приносили в озеро ежегодно 164 млн. тонн осадков. Их вынос составлял лишь 23.1% от поступившей массы (Jianqiang et al., 1995). Dai et al. (2005), оценили средний за период с 1956 по 2003 гг. привнос

Отложение осадков на оз. Донгтинг

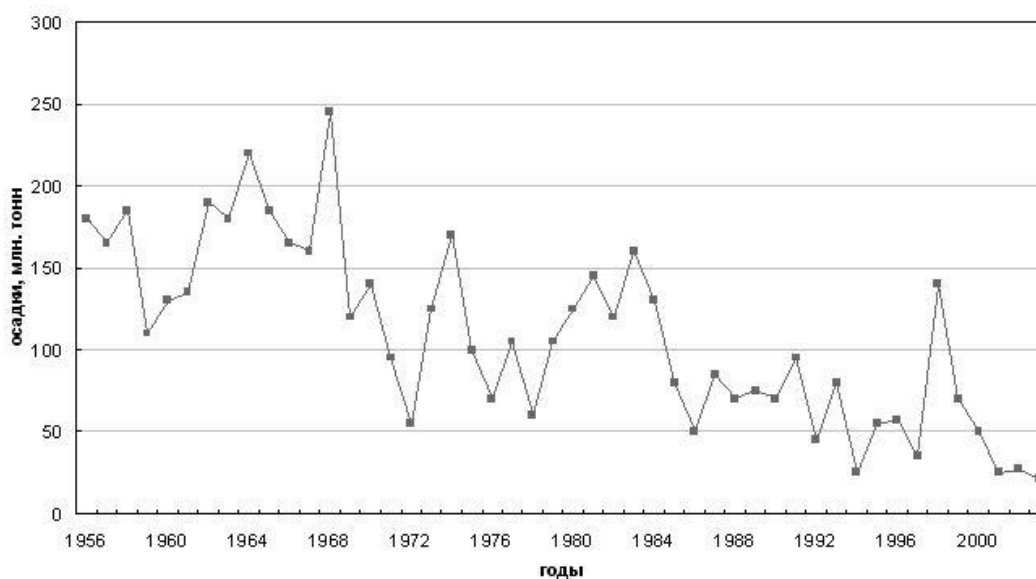


Рис. 3.12. Отложение осадков в оз. Донгтинг за 1956-2003 гг. по данным Dai et al., 2005.

осадков в озеро в 110.6 млн. тонн в год, причем было отмечено, что в первую половину периода эта величина была значительно выше (рис. 3.12). Скорость отложения осадков составляла в среднем по озеру около 10 см/год. В Западное и Восточное озеро ежегодно поступало 6000 и 9700 м<sup>3</sup> наносов, при этом аккумулировалось, соответственно, 3000 и 6400 м<sup>3</sup>/год (Jianqiang et al., 1995).

Местные водоохранные постановления, направленные на снижение скорости заполнения озерной чаши наносами были сформулированы в 1981 г. Лесонасаждение и строительство больших дамб, таких как «Три Ущелья», значительно сократили осадконакопление в последние годы. В 2003 г. после завершения строительства дамбы «Три Ущелья» последовало заполнение водохранилища. Только за первые 4 месяца (июнь-сентябрь) в водохранилище было аккумулировано около 100 млн. тонн осадка, что привело к существенному снижению осадконакопления ниже по течению р. Янцзы. За 2003 г. в оз. Донгтинг отложилось 20.8 млн. тонн осадков, скорость отложения снизилась до 4.7 мм/год (Dai et al. 2005).

Среди экологических проблем, с которыми столкнулось оз. Донгтинг в последние годы - значительное снижение численности рыб, связанное с увеличением загрязнения воды и чрезмерным выловом, в том числе брако-

ньерским. Кроме того, на озере наблюдается исчезновение ряда видов, обитавших в озере ранее. Огромный ущерб биологическому разнообразию нанесло практически полное исчезновение речного дельфина, проживавшего ранее в бассейне р. Янцзы. В 2007 г. встала проблема о возможном исчезновении китайской бесперой морской свинки, которой осталось около 1400 особей, в том числе 700-900 в бассейне Янцзы и около 500 в озерах Поянг и Донгтинг. К 2007 г. размер популяции свинок сократился в два раза относительно 1997 года и продолжает уменьшаться со скоростью 7.3% за год.

#### *Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера*

С целью снижения осадконакопления в озере с 1980-х гг. ведется работа по усовершенствованию стока рек, что значительно уменьшает приток грязи в озеро. Для предотвращения эрозии во второй половине XX в. на водосборе было высажено около 150 млн. деревьев. Как описано выше, ожидается снижение осадконакопления в связи со строительством дамбы «Три Ущелья».

С 2005 г. на озере действует программа по поддержанию биологической вариативности. В программе задействованы как китайские, так и норвежские специалисты. Вклад норвежской стороны составляет 3.6 миллионов юаней.



Согласно проекту предполагается восстановить биологическую вариативность озера в течение 5-10 лет. Проект, как предполагается, должен служить моделью для защиты других крупных озер Китая.

В 2006 г. из-за значительного ухудшения качества озерной воды было принято решение о закрытии на водосборе 234 небольших бумажных фабрик. На оставшихся предприятиях были введены в действие дорогостоящие системы обработки стоков, обеспечивающие очистку высокого качества. До закрытия предприятия целлюлозно-бумажной промышленности ежегодно сбрасывали в озеро более 100 млн. тонн сточных вод, что привело к ухудшению качества воды, перешедшей на V уровень загрязненности, и резкому уменьшению рыбных ресурсов. Кроме того, многие жители начали испытывать дефицит питьевой воды. После закрытия предприятий, согласно проведенным мониторинговым исследованиям, качество озерной воды существенно улучшилось, вода в большинстве проб соответствовала III уровню загрязненности, а в ряде проб - II. Объем стоков, поступающих в р. Янцзы был сокращен наполовину. Был снят запрет на лов озерной рыбы (КИЦ, 2007).

В районе оз. Донгтинг создан государственный заповедник площадью 190 тыс га, где обитают 255 видов птиц, некоторые из них, такие как стерх, черный журавль, чешуйчатый крохаль и др., находятся под охраной государства.

### 3.3. ОЗЕРО ПОЯНХУ

Озеро Поянху (рис. 3.13) считается крупнейшим пресноводным озером Китая, оно расположено в пров. Цзянси в 50 км севернее г. Наньчан. Координаты: 28°22'-29°15'с.ш., 115°49'-116°45'в.д. (Guozhuang Shen et al., 2009). Озеро находится в равнинном районе, в нижнем течении р. Янцзы (рис. 3.11). Урез воды расположен на высоте 12 м над уровнем моря.

Чаша оз. Поянху имеет тектоническое происхождение. Она принадлежит к категории разломных впадин, рожденных под воздействием растяжения земной коры. В геологический период Юаньгудай этот регион был одной из частей морского жёлоба Янцзы. В период Яньшаньского движения, путём разрыва и оседания земной коры, здесь образовался бассейн конической формы. Современный вид озеро имеет около 1600 лет. Приблизительно в 400 году нашей эры р. Янцзы отклонилась

южнее своего изначального положения и изменила течение р. Ганьцзян, что привело к заполнению чаши, которую сегодня и занимает оз. Поянху. Своего максимального размера озеро достигло при династии Тан, когда его площадь составляла около 6000 км<sup>2</sup>.

Озеро расположено на правом берегу р. Янцзы с которой оно соединено километровой протокой. Горой Сунмэньшань оно разделено на две части: узкую северную, имеющую протяженность около 40 км и соединенную с р. Янцзы, и расширенную южную – главное озеро, длиной 133 км и максимальной шириной 74 км. Глубины южной части небольшие, тогда как узкая северная часть сравнительно глубоководна. Южную часть называют Гунтинху или Цзутинху, а северную - Лосинху или Цзолиху. Площадь водного зеркала в сезон дождей составляет около 3850 км<sup>2</sup> (Jiang et al., 2008), объем заключенной воды - 27.6 км<sup>3</sup>. В сухой сезон площадь водного зеркала сокращается до 1000 км<sup>2</sup> и даже меньше. Средняя глубина озера – 8.4 м, максимальная – 25.1 м. Длина береговой линии около 1800 км. Время водообмена – около 5000 лет. В пределах озера расположено 25 групп островов, состоящих из 41 острова. Их общая площадь – 103 км<sup>2</sup> (Haixing, 1995). Наиболее крупные - о-ва Таниньдао, Чжупаошаньдао.



Рис. 3.13. Озеро Поянху. Фото NASA.

Окружающий озеро рельеф равнинный, слабо холмистый. Естественная растительность состоит, прежде всего, из широколиственных лесов с доминированием бука и широким распространением лавровых, чайных, мгнолиевых и падубовых, смешанных с другими породами, типичными для суббореальных лесных восточноазиатских ландшафтов. Характерен богатый видовой состав листопадных и вечнозеленых деревьев. В силу высокой заселенности, естественный растительный покров плохо сохранился и лес распространен лишь на небольшой территории. Характерны вторичные леса и искусственные лесонасаждения, преимущественно из хвойных пород.

### ***История заселения и роль озера в жизни окружающих народов***

Исторически через пров. Цзянси проходил основной путь в южные части Китая, так как этот коридор был одним из немногих удобных путей среди гор. В древний период Китая эта территория не входила в основные очаги китайской цивилизации. С 221 до н. э., еще до образования озера, территория провинции вошла в единую империю Цинь. Во время династии Тан была образована провинция Цзяннань, которая, как следовало из её названия (буквально, «к югу от реки»), занимала территорию к югу от реки Янцзы, включая и современную пров. Цзянси. В 733 г. пров. Цзяннань была разделена на 2 части: восточную и западную. Западная получила название Цзянси или Западная часть Реки. После падения династии Цин провинция стала опорой китайских коммунистов и крестьян, примкнувших к революции.

### ***Климат. Характеристики термического режима***

Регион озера характеризуется субтропическим муссонным теплым и влажным климатом со значительным количеством осадков (Jiang et al., 2008). Влажный сезон продолжается с апреля по сентябрь, с октября по март имеет место сухой сезон. Средние температуры воздуха составляют 16-18°C. В течение года температура редко опускается ниже нуля, хоть зимой и весной периодически происходят похолодания, вызванные холодными циклонами из Сибири. Безморозный период продолжается от 246 до 284 дней. Амплитуда экстремальных значений температуры значительная, минимум составляет минус 18.9, максимум – плюс 41.2°C.

Средняя годовая температура воды на озере составляет 18.3°C. Рост температуры происходит с февраля по август, снижение – с сентября по январь. Максимальные температуры воды за период наблюдений составляли 32.4-35.1°C, минимальные – от 0.4 до 2.2°C. Лишь в отдельные годы на водоеме образовывался тонкий ледяной покров. (Haixing, 1995). По площади водоема происходит небольшое увеличение температуры с севера на юг, составляющее от долей до нескольких градусов.

### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

В бассейне оз. Поянху в год в среднем выпадает 1426 мм осадков (1400-1600 мм), около половины из них приходится на период с апреля по июнь. Средняя величина испарения составляет 1236 мм с разбросом по годам в пределах 461 мм (Haixing, 1995). С речным стоком в озеро поступает 1265 км<sup>3</sup> воды в год. Основной приток приносят 5 крупных рек, р. Ганьцзян, Синьцзян, Фухэ, Сюшуй и Жаохэ, отток происходит по р. Янцзы. Р. Ганьцзян и Хьюцзян связаны с р. Янцзы посредством каналов.

Поскольку для р. Янцзы оз. Поянху служит естественным регулятором стока, уровень его воды в течение года и в многолетнем разрезе подвержен значительным колебаниям. Ежегодная амплитуда уровня составляет 10 м (Taige, 2008), размах колебаний за период измерений - 16.5 м. Самый высокий уровень, 20.7 м, наблюдался в июле 1998 г., самый низкий, 4.1 м, – в феврале 1963 г. (Jiang et al., 2008); среднемноголетний уровень - 12.8 м. В 75% случаев максимальный уровень приходится на июнь, а минимальный – на декабрь-январь (Haixing, 1995). Площадь водного зеркала озера в сезон дождей (в конце лета) увеличивается до 3000-4500 км<sup>2</sup>.

В последние годы наблюдалось понижение минимальных уровней воды озера и, кроме того, удлинение сухого сезона (Taige, 2008). Если обычно минимум уровня приходился на январь-февраль, то в последние годы он случается в декабре и даже ранее. Снижение уровня приводит к возникновению дефицита воды в зимние месяцы.

### ***Основные характеристики качества вод***

Оз. Поянху характеризуется невысокой прозрачностью воды. На протяжении второй



Концентрация кислорода (мг/л) и рН в оз. Поянху

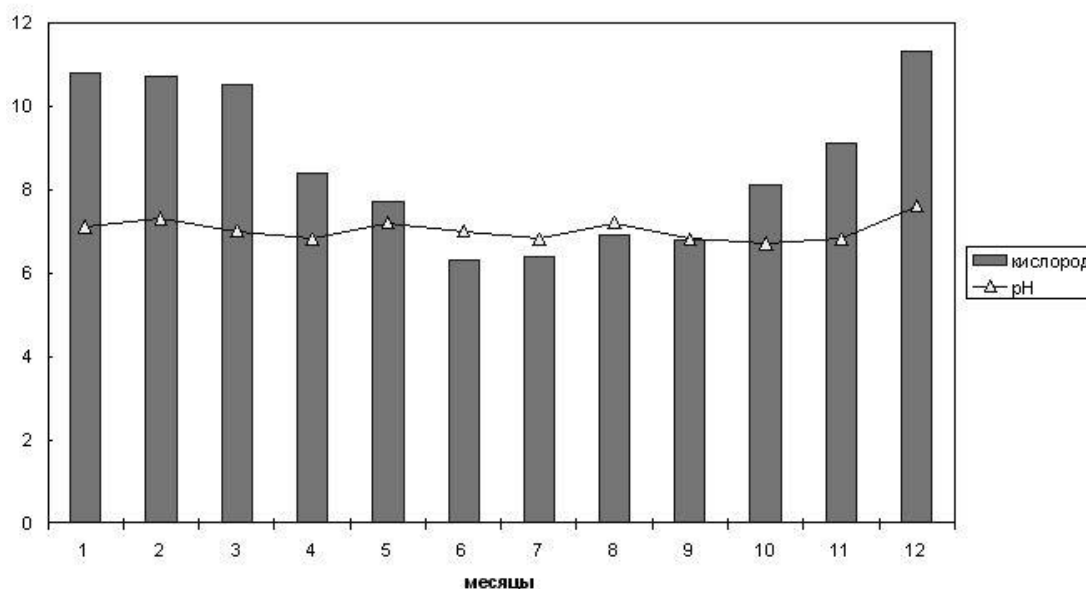


Рис. 3.14. Внутригодовое распределение концентрации кислорода и рН в оз. Поянху по данным Haixing, 1995.

половины XX в. в зимне-весенний сезон прозрачность составляла по большей части акватории от 10 до 35 см и, немного выше, от 10 до 40 см, в наиболее глубокой части водоема. Рост прозрачности происходил к началу лета и составлял в июне 30-50 (80) см, в июле-августе – 50-120 (220) см (Haixing, 1995). В последние годы из-за дночерпательных работ мутность воды значительно увеличилась.

Среди ионов в озерной воде преобладают карбонаты и гидрокарбонаты, составляющие около 80% от общей массы анионов, среди катионов доминируют калий и натрий. Средняя жесткость воды - от 13.6 до 23 мг/л. Значения рН варьируют по озеру от 6.6 до 8.5 при среднем – 7.3. Содержание кислорода - 6.3-11.3 мг/л (рис. 3.14). В летние месяцы оно падает, зимой – увеличивается. Концентрация хлорофилла-а – 0.45-2.2 мкг/л. Согласно мнению Haixing (1995) оз. Поянху на конец XX в. находилось на мезотрофном уровне. Повышенная трофность наблюдалась в приустьевых участках питающих его рек и в дельтах, здесь в некоторые месяцы вода соответствовала мезотрофно-эвтрофному и эвтрофному состоянию.

#### Основные биологические особенности

На озере Поянху произрастает 102 вида макрофитов, принадлежащих 38 семействам. В

конце XX в. они покрывали около 80% площади озера (Haixing, 1995), создавая благоприятную среду для роста различных видов рыб и других представителей озерной фауны. При низкой воде доминируют осоковые (*Carex* spp.), тростник (*Phragmites australis*), веерник (*Miscanthus saccharifloras*). В период высокой воды многочисленны рдест (*Potamogeton malaianus*), валлиснерия (*Vallisneria spiralis*), гидриллы (*Hydrilla verticillata*), чилим (*Trapa* spp.), болотноцветник (*Nymphoides peltatum*). На озере выделяется 9 ассоциаций, характеризующихся различной структурой и видовым составом. Общая биомасса макрофитов оценивается в 3.88 млн. тонн/год, 1208 гр/м<sup>2</sup> (Haixing, 1995).

В озере насчитывается 154 вида фитопланктона, принадлежащих к 8 типам и 54 семействам. 78 видов являются представителями отдела зеленых водорослей, 31 – диатомовых, 25 – сине-зеленых, по 6 золотистых и эвгленид, 4 – желто-зеленые водоросли, 3 динофлагелляты, 1 – криптофитовые водоросли (Haixing, 1995). Доминантными видами являются среди сине-зеленых: *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*; среди диатомовых: *Melosira*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Navicula*, *Surirella*; среди зеленых *Pediastrum*, *Spirogyra*, *Closterium*, *Staurastrum*, *Netrium*, *Xanthidium*. Среднегодовая численность фитопланктона составляет 476000 экз/л.

Наименьшее количество, 270000 экз/л, наблюдается в феврале, наибольшее, 3550000 экз/л, - в сентябре-октябре. Преобладают диатомовые и зеленые. Сине-зеленые распространены преимущественно летом, осенью появляется большое количество зеленых и динофлагеллят, зимой многочисленны диатомовые (Haixing, 1995).

В озере 59 видов зоопланктона принадлежащих 12 семействам, это коловратки, ветвистоусые рачки и веслоногие ракообразные из которых 13 циклопид. Циклопы преобладают по численности летом, составляя до 80% биомассы. Доминантными видами являются *Asplancha prodonta*, *Keratella*, *Polyarthra trigla*, *Conochilus unicornis*, *Brachinous calyciflorus*, *Monostyla lunaris*, *Diaphanosomabrachyurum*, *Moina micrura*, *Bosimnia*, *Sinocalanus dorrii*, различные виды *Mesocyclops* и *Nauplius* (Haixing, 1995).

Озеро характеризуется богатством бентосной фауны, в нем обитают различные виды губок, гидроидных и ресничных червей, круглых и брюхооресничных червей, малощетинковых червей, пиявок, брюхоногих и двустворчатых моллюсков ракообразных, водяных клещей и членистоногих. Наиболее многочисленны моллюски, широко распространены: *Alocinma longcornis*, *Parafossarulus striatulus*, *Bellamyia aeruginosa*, *B. purificata*, *B. quadrata*, *Parafossarulus sinensis*, *P. eximus*, *Semisulcospira cancellata* (Haixing, 1995). Согласно расчетам Guozhuang Shen et al. (2009) общая биомасса озера Поянху составляет  $1.06 \cdot 10^9$  кг, средняя – 682.86 г/м<sup>2</sup>.

В озере 122 вида рыб, принадлежащих к 21 семейству, преимущественно карповые (Cyprinidae - 65 видов), а также вьюновые (Cobitidae – 9), кефалевые (Mugilidae – 5), сельдевые (Clupeidae – 3), головешковые (Eleotridae – 3) и др (Haixing, 1995). Кроме того, встречаются моллюски, креветки, крабы. Годовой улов рыбы составляет 20000-40000 тонн.

В бассейне оз. Поянху насчитывается 332 вида птиц, в том числе 115 водоплавающих. В сезон миграции, когда площадь водного зеркала существенно сокращается, оставляя комплекс заболоченных земель, здесь останавливается около полумиллиона особей различных видов (рис. 3.15). 54 вида занесены в Красную книгу, в том числе: чирок-клоктуна (*Anas formosa*), пеликаны (*Pelecanus*), черный аист (*Ciconia nigra*), большая дрофа (*Otis tarda*), стерх или

белый журавль (*Grus leucogeranus*). Стерх является эндемиком северных территорий России, и находится под угрозой исчезновения. В настоящее время численность вида (в дикой природе) оценивается в несколько тысяч особей, почти вся восточная популяция, гнездящаяся на севере Якутии, зимует на оз. Поянху (Poyang Lake..., 2008). Наряду с белым журавлем на озере зимует также даурский, черный и серый журавли (*Grus vipio*, *G. monacha*, *G. grus*). В регионе встречается японский журавль (*Grus japonensis*). Среди других видов - белый аист (*Ciconia ciconia*), многочисленные утки: шилохвость (*Anas acuta*), чирок-свистунка (*A. crecca*), косатка (*A. falcata*), кряква и черная кряква (*A. platyrhynchos*, *A. poecilorhyncha*), серая утка (*A. strepera*), сухонос (*Anser cygnoides*), белолобый гусь (*Anser albifrons*) (Haixing, 1995).

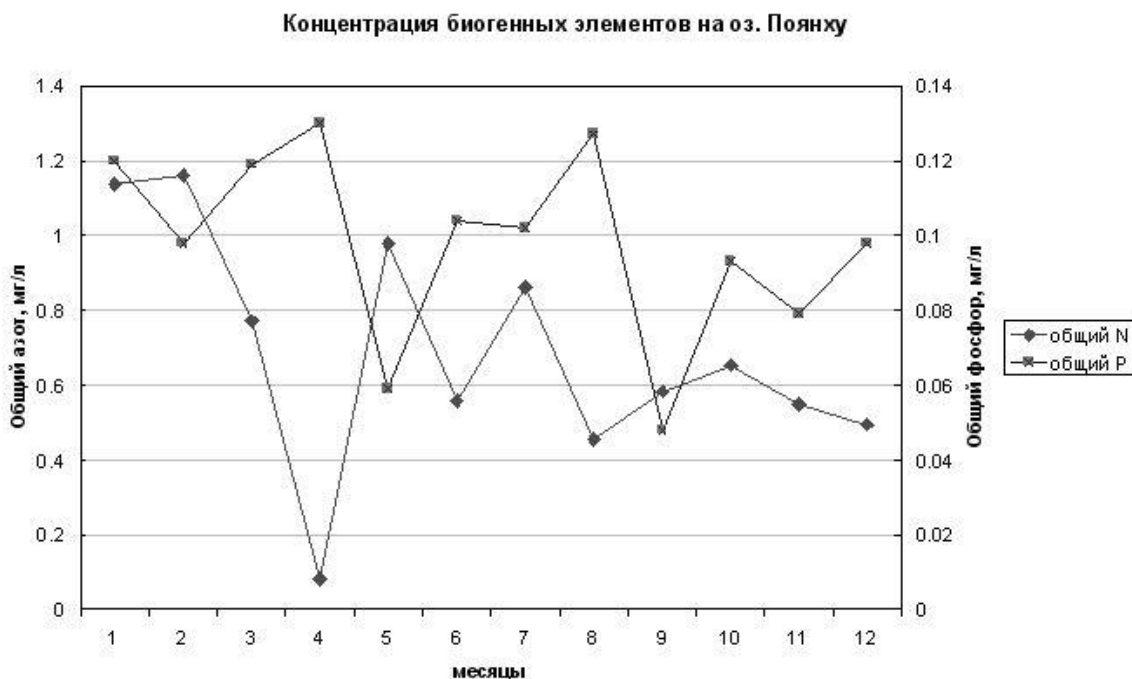


Рис. 3.15. Прилет птиц на оз. Поянху в период сокращения площади озера.

Благодаря высокой биологической вариативности озеро имеет охранный статус. Площадь водно-болотных угодий вокруг озера составляет 390000 га, площадь охраняемых угодий - 22400 га (Haixing, 1995).

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Поянху составляет 162225 км<sup>2</sup> (Haixing, 1995) и охватывает практически всю пров. Цзянси, где на уровень



**Рис. 3.16.** Внутригодовое распределение концентрации общего азота и фосфора в оз. Поянху по данным Haixing (1995).

2009 г. проживало около 44 млн. человек, при этом около 9 млн. непосредственно вокруг озера. Из-за частых наводнений провинция относится к наиболее бедным областям Китая. Значительный ущерб местной экономике был нанесен последними наводнениями, происходившими здесь в 1995, 1998 и 1999 и 2010 гг. (Jiang et al., 2008). Самым драматическим явилось наводнение, произошедшее осенью 1998 г.

Основной отраслью местной экономики является сельское хозяйство, в котором занято около 2/3 трудоспособного населения. Пров. Цзянси - это один из основных регионов Китая, производящих рис и зерно под посевами которых находится около 45% ее площади. Район озера охвачен плотной сетью оросительных каналов. Важной составляющей дохода местной экономики является также рыбная ловля. Озеро обеспечивает около 60% рыбного производства провинции. Определенное значение имеет промышленность, прежде всего добывающая. В регионе есть богатые залежи полезных ископаемых, в том числе меди. Активное развитие в последнее десятилетие получила добыча песка, ставшая важным источником финансового дохода. С начала 2000-х гг. доля промышленного сектора в местной экономике существенно повышается, и в городах пров. Цзянси возникают обширные промышленные зоны.

#### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Активное антропогенное развитие на водосборе создает на озере Поянху ряд проблем. С 1954 по 1984 гг., прежде всего в связи с развитием сельского хозяйства в регионе, было осушено более 1000 км<sup>2</sup> площади озера. Значительные площади болот (около 670 км<sup>2</sup>) из-за эрозии и деградации превратились в ненужные, неиспользуемые земли, лишенные растительности. Процесс осушения земель был приостановлен правительственными решениями в 1980-х гг., и в 1990-е гг. была разработана правительственная программа по возвращению сельхозугодий, однако перспективы ее выполнения пока остаются неясными.

Еще одной проблемой оз. Поянху являются сельскохозяйственные стоки. Недостаток очистных сооружений привел к накоплению в озерной воде биогенного вещества и эвтрофированию. Согласно Haixing (1995) в озеро с речным стоком ежегодно приносится 10514 тонн фосфора, с поверхностным смывом – 2888 тонн и с дождем – 24 тонны, вынос фосфора из озера составляет 11033 тонны. Таким образом, в озере ежегодно остается 2384 тонны фосфора. Привнос азота согласно Haixing (1995) приблизительно равен его выносу (около

90000 тонн/год). Содержание общего азота в конце XX в. изменялось по акватории от 453 до 1215 мкг/л, а общего фосфора – от 30 до 118 мкг/л. Концентрации обоих элементов были выше в приустьевых участках р. Ганьцзян, Фухэ и Синьцзян, в целом по озеру они существенно ниже. В годовом интервале наблюдалось значительное изменение концентрации общего азота, его повышение в зимние месяцы и в мае (рис. 3.16) и более ровное распределение концентрации общего фосфора. В начале XXI в. концентрации биогенных веществ в озерной воде повысились. Кроме биогенных веществ в озеро попадает большое количество пестицидов. В результате на сегодняшний день возникает опасность пищевого отравления водоплавающих птиц (уток, гусей, лебедей).

В течение последних десятилетий происходит индустриальное загрязнение озерной воды. Значительную роль в промышленном загрязнении играют медные рудники, расположенные на восточном побережье. С их сточными водами в озеро привносятся тяжелые металлы, в том числе медь, цинк и свинец (Chen et al., 1989). С речным стоком в озеро поступают промышленные стоки предприятий, расположенных выше по водосбору. Они содержат ртуть, кадмий, нефтепродукты, мышьяк, фториды, сульфиды и др. В результате на конец XX века концентрация загрязнителей в озерной воде составила: хлоридов - 0.8-2.1 (6.0) мг/л, фенолов - 0.001-0.005 (0.024) мг/л, оксида мышьяка - 0.005-0.01 (0.04) мг/л, нефтепродуктов - 0.019-0.113, меди - 0.001-0.188 мг/л, цинка – 0.02-3.23 мг/л. Содержание нефтепродуктов превысило рыбохозяйственную норму в 2.3 раза весной. Среди тяжелых металлов наблюдалось превышение рыбохозяйственной нормы по меди от 1.2 до 12.8 раз и по цинку от 2.6 до 12.3 раз (Haixing, 1995). Пестициды, нефтепродукты, тяжелые металлы имели различное распространение в периоды низкого и высокого уровня. Большинство промышленных загрязнителей оседали на дне, так что их концентрация в донных осадках была значительно выше, чем в озерной воде. Содержание меди в донных отложениях составляло 21.5-34.0 мг/л, цинка - 113-158 мг/л, свинца – 25-48.5 мг/л, кадмия 0.04-0.24 мг/л (Haixing, 1995). В дельтах впадающих в озеро рек концентрации обычно были выше. Из-за относительно слабого по китайским меркам развития промышленности на водосборе и

отсутствия сильного индустриального загрязнения озерная вода, в целом, до последнего времени продолжала оставаться умеренно загрязненной (по большей части акватории - II класса и лишь на 20% акватории – III класса) (Haixing, 1995).

Проблемой, наметившейся в последние годы, явилось удлинение периода низких уровней, что привело к возникновению водного дефицита в зимние месяцы. Одной из причин, вызывающих изменение режима озера, называется строительство дамбы «Три Ущелья» на р. Янцзы, понизившей уровни воды вниз по реке. В результате, сток из озера в реку в период накопления воды в водохранилище превосходил в 2007 г. речной приток в озеро в 6 раз (Taige, 2008). Кроме количественных изменений, связанных со строительством дамбы, наметились и качественные изменения озерной воды. Проведенные в 2007 г. исследования контроля качества воды дали неутешительный результат – в осенние месяцы около 60% озера содержало воду III класса и около 40% - IV. Зимой, в период низкого уровня сток из озера представлял собой воду V класса (значительно загрязненную) (Taige, 2008). Лишь с подъемом уровня в весенние месяцы качество озерной воды улучшилось.

Значительные проблемы на озере связаны с заилением водоема. Согласно данным MRLSD в него ежегодно поступает 13.02 млн. тонн наносов. 63% приносится со стоком р. Ганьцзян, 8.4% - со стоком р. Фухэ, 13.3% - со стоком р. Синьцзян, 10.6% - со стоком р. Сюшуй и 4.9% - со стоком р. Жаохэ (Haixing, 1995). Нормы осадконакопления выше при впадении рек, в воде которых содержится наибольшее количество взвесей. Деградация почв в бассейне основных притоков является важнейшим источником седиментации в озере. Наиболее подвержены смыву красные почвы четвертичного возраста, процессы выветривания также сильно затрагивают красные песчаники и граниты.

С конца XX в. одной из основных проблем оз. Поянху явились масштабные дночерпательные работы. Добыча песка стала важной и прибыльной отраслью местной экономики, вместе с тем, дночерпательные работы привели к значительному уничтожению высшей водной растительности и исчезновению ряда видов, ранее обитавших на озере. Прежде всего, это касается рыбного населения, значительно

сократившегося за последние десятилетия из-за разрушения привычной среды обитания, в том числе, защищенных нерестилищ в зарослях макрофитов. На оз. Поянху, как и в ряде других озер бассейна Янцзы, обитал речной дельфин, исчезнувший к сегодняшнему дню. Схожая участь грозит бесперой морской свинке, которой осталось около 500 экземпляров. Для комфортного проживания свинок озерная вода стала слишком мутной, к тому же, быстро развивающийся морской транспорт, в том числе занимающийся дночерпательными работами, создает шумы, мешающие свинкам находить пропитание, полагаясь на высоко развитую у этих животных систему слуха. К 2007 г. размер популяции свинок сократился в два раза относительно 1997 года и продолжает уменьшаться со скоростью 7.3% за год. Были высказаны опасения, что населяющие озеро беспёрые морские свиньи могут разделить участь вымершего озёрного дельфина (Kejia, 2007).

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

За экологическим состоянием озера Поянху следит Естественнонаучный Университет Цзянси, Наньчанский Университет, а также ряд неправительственных, некоммерческих организаций как MRLSD (Promotion Association for Mountain-River-Lake Regional Sustainable Development), расположенная в Наньчане. Основная цель всех организаций – охрана и защита оз. Поянху и его водосбора, сбалансированное развитие региона и управление его водными ресурсами. Большое внимание в последние годы уделяется вопросам биологической вариативности, в частности спасению бесперой морской свинки.

С целью охраны сокращающегося рыбного населения с 2002 года на озере Поянху действует запрет на ловлю рыбы. Запрет распространяется также на ряд притоков р. Янцзы и действует в весенние и первый летний месяцы, когда происходит размножение рыб семейства карповых. Впервые запрет на лов рыбы с целью защиты окружающей среды и водных ресурсов вводился в 1986 г., что способствовало улучшению экологической обстановки.

В связи с богатейшим птичьим населением озеро Поянху имеет защитный статус. С 1981 г. в его бассейне было создано 15 заповедников общей площадью 22.4 тыс. га. Национальный Заповедник оз. Поянху охватывает около 5%

площади водосбора. В 2008 г. Национальный статус получил также Наньджисянский заповедник. Кроме того, в пределах бассейна озера есть несколько заповедников с провинциальным (3) и областным (10) статусом. Ряду областей предполагается предоставить охранный статус в ближайшее время. Общая площадь охраняемых земель на водосборе достигает в настоящее время 54%. Озеро является одним из 6 крупнейших заповедников заболоченных земель в мире. В 2004 г. было сделано заявление в Китайское Министерство Строительство и в ЮНЕСКО с предложением внести оз. Поянху в число международных охраняемых болотных угодий, представляющих мировое природное наследие.

### **3.4. ОЗЕРО ТАЙХУ (ТАЙ)**

Оз. Тайху или Тай - третье по величине пресноводное озеро Китая, уступающее в размере лишь озерам Поянху и Донгтинг (рис. 3.17), расположено ниже них, примерно в 100 км от дельты р. Янцзы и в 150 км от побережья Восточного-Китайского моря. Координаты: 30°56'-31°34' с.ш.; 119°54'-120°36' в.д., урез воды находится на высоте 3.1 м над уровнем моря. Все озеро административно принадлежит провинции Цзянсу, хотя его южное побережье находится в соседней провинции Чжэцзян.



**Рис. 3.17.** Озеро Тай. Источник: LBRI&ILECF. 1988.

Площадь водного зеркала составляет 2338 км<sup>2</sup> (Bi et al., 2009), объем заключенной воды – 4.76

км<sup>3</sup>. Озеро имеет форму полумесяца с рваным зигзагообразным краем, его протяженность - 68.5 км, ширина – 34 км. Водоем мелководный, его максимальная глубина всего 2.6 м, средняя – 1.9 м, при этом от берега глубина быстро нарастает, большая часть водоема (86%) имеет глубины от 1 до 2.5 м и лишь 5.6% - до 1 м (Yiping H. et al., 1995). На озере около 90 островов, некоторые из них совсем крошечные (всего несколько метров в длину), некоторые протянулись на несколько километров. Их общая площадь составляет 89.7 км<sup>2</sup>, самым крупным является о-в Сишань. Остров Дунтин-Сишань соединен с сушей самым длинным в Китае озерным мостом.

Оз. Тайху возникло в результате Яньшаньского горнообразовательного движения в позднем юрском и раннем меловом периоде. Значительную часть истории это была крупномасштабная мелководная лагуна, имевшая обширную площадь, намного превосходящую современное озеро. Периодически она превращалась в залив, затем снова становилась лагуной. В озеро лагуна превратилась около 6000 лет назад в результате трансгрессии уровня моря. Около 6000 лет назад уровень моря был выше, осадки, приносимые с водосбора, отлагались в приливно-отливную зону и создавали насыпь, отделяющую залив от моря. Около 5300-5000 лет назад море отступило, вода в образовавшемся озере стала постепенно опресняться.

Согласно исследованию, проведенному в 1987 году, вокруг озера Тайху насчитывается 224 водотока (Yiping H. et al., 1995), 70 притоков в него воду и 154 - уносящих. К основным водным системам в бассейне относятся реки Западная и Восточная Тяоши, Шинси, Суаньпу и Великий Китайский канал. Посредством уносящих воду рек и каналов оз. Тайху соединено с расположенной севернее р. Янцзы.

В бассейне озера простираются обширные равнины. Холмистый, низкогорный рельеф характерен для западной и южной части водосбора. Самая высокая точка – вершина горы Таянму – 1587 м. Почвы желто-коричневые и красные. Растительность представлена листопадными и вечнозелеными широколиственными лесами, а также хвойными субтропическими. Практически все леса – вторичные. Распространены бамбуковые рощи и искусственные посадки деревьев технических пород.

### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Оз. Тайху - одно из 5 наиболее знаменитых Китайских озер, расположенное близ дельты р. Янцзы, известной своей сложной сетью небольших озер, прудов, проток и искусственных каналов, включая Великий канал построенный в 7<sup>-ом</sup> веке для связи Пекина с Ханчжоу в Чжэцзян. Бассейн озера был заселен еще за много тысячелетий до н.э. В эпоху древнейших китайских государств — династий Ся и Шань — территория Цзянсу не входила в сферу китайской цивилизации, а была заселена народностью Хуай И. Но уже во время династии Чжоу (XI—III вв. до н. э.) здесь возникает царство У — вассал Китайской Империи. В 473 г. до н. э. царство У было завоёвано южным княжеством Юэ, которое, в свою очередь, было покорено царством Чу. В 221 г. до н. э. Чу, вместе с другими китайскими государствами вошло в состав единой Империи Цинь.

Оз. Тайху играет важнейшую роль в жизни проживающих в его бассейне людей. Его вода используется для ирригации, коммунального водоснабжения и разведения аквакультур, кроме того, озеро используется для рыбной ловли, играет роль регулятора стока и регулятора климата в регионе. На озере активно развито судоходство и туризм. Вблизи озера расположены некоторые из древнейших и красивейших городов страны, славящиеся своими историко-культурными достопримечательностями. Озеро привлекательно карстовыми пещерами, живописными островами, на которые осуществляются лодочные прогулки. Здесь расположены уникальные известняковые скалы, материал из которых используется китайскими умельцами для украшения традиционных китайских садов. Прекраснейшие пейзажи оз. Тайху привлекают как внутренних, так и иностранных туристов.

### *Климат. Характеристики термического режима*

Климат региона влажный муссонный с теплым влажным летом, когда преобладают юго-восточные ветра, и прохладной и сухой зимой, с ветрами северо-восточного направления. Бассейн расположен в пределах субтропической зоны. Среднегодовая величина температуры воздуха изменяется от 14.9 до 16.2°C (Bi et al., 2009), максимальные месячные температуры наблюдаются в июле, 27.7-28.6°C, минимальные – в январе, 1.7-3.9°C (рис. 3.18).



Среднегодовое параметры климата, оз. Тай

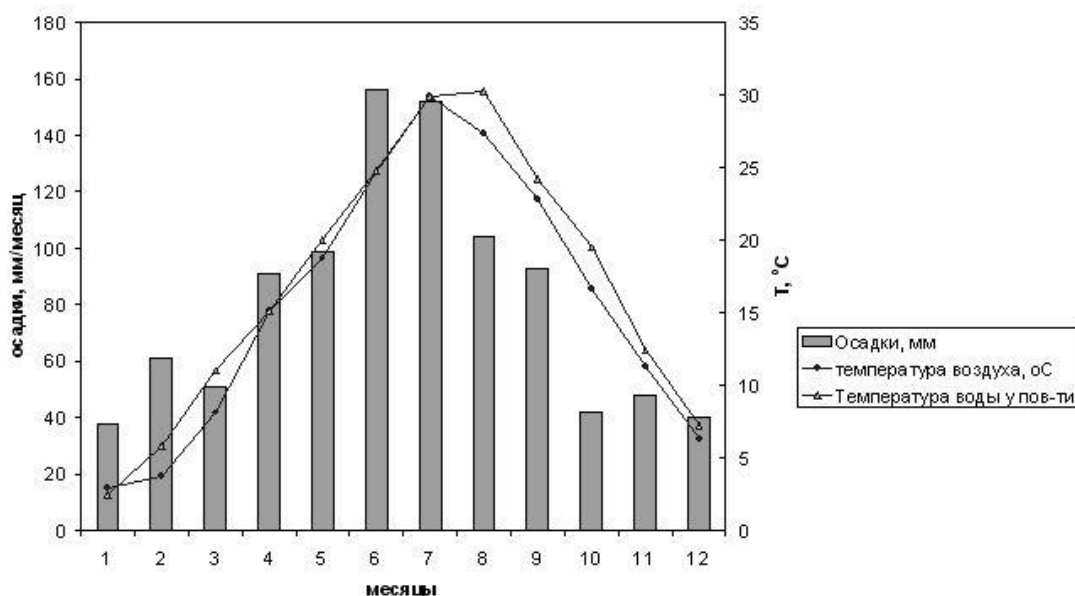


Рис. 3.18. Среднемесячные данные по осадкам и температуре воздуха на ст. Suzhou, и температура воды на ст. Daru по данным ILEC.

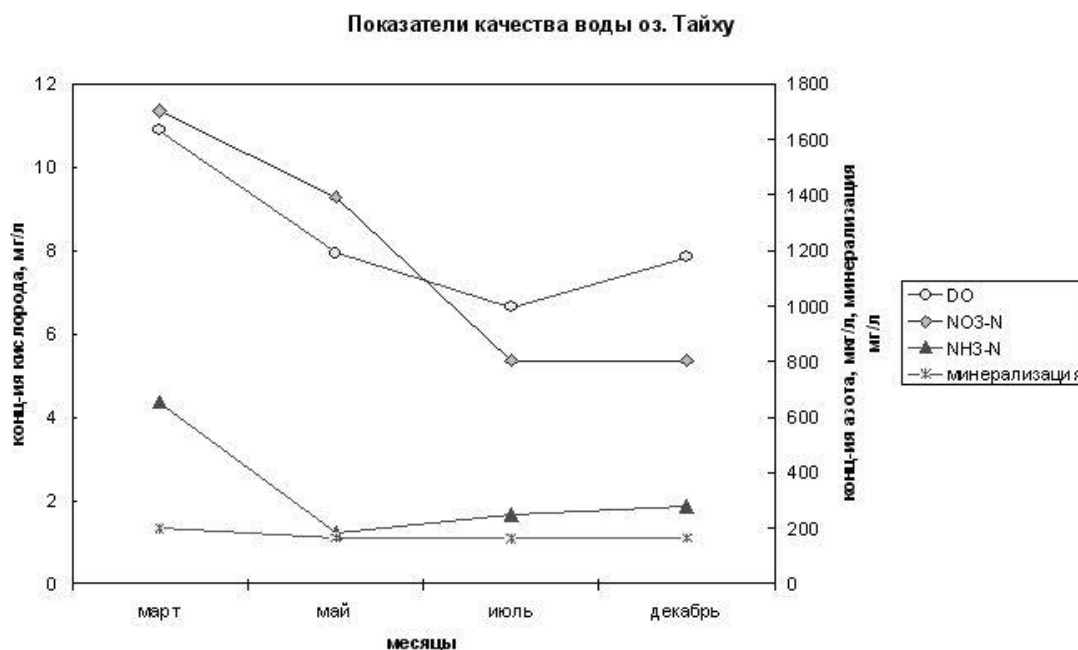
Длина безморозного периода составляет 220-246 дней (Yiping H. et al., 1995). В регионе выпадает от 1000 до 1400 мм осадков, их величина значительно изменяется год от года. Наибольшее количество осадков приходится на летние месяцы (35-40%).

Оз. Тайху - мелководный, полимектический водоем с отсутствием сезонной стратификации и отсутствием дефицита кислорода в гипolimнионе. В озере наблюдается сильная ветровая циркуляция, связанная с преобладающими ветрами и сезонными муссонами. Среднегодовая температура воды составляет 17.1°C, что на 1.3°C выше, чем среднегодовая температура воздуха. В течение года температура воды изменяется в значительных пределах, от 0°C в зимние месяцы (декабрь-январь) до 38°C в июле-августе (Yiping H. et al., 1995). Вертикальное распределение температуры варьирует в течение года. Наибольший градиент температур приходится на апрель-май, когда происходит быстрое нагревание водоема, и поверхностный слой намного теплее глубинных вод, наименьший градиент в декабре-январе. В зимние месяцы вдоль берега происходит образование ледяного покрова. За 650 лет наблюдений озеро полностью замерзло более 10 раз (Yiping H. et al., 1995).

#### Характеристики водного режима и водного баланса

В озеро Тайху приносят свои воды около 70 рек, берущих свое начало в горах на западе и юго-западе его водосбора. Наиболее крупными являются реки Западная и Восточная Тяоши и р. Шинси. Общая величина притока оценивается в 4.1 км<sup>3</sup>/год (Bi et al., 2009). Величина осадков, выпадающих на поверхность озера, оценивается в 1.2 км<sup>3</sup> (Yiping H. et al., 1995). Отток из озера происходит у восточного побережья, здесь берет начало несколько крупных рек, в том числе р. Сучжоухэ. Множество рек и каналов связывают озеро с рекой Янцзы, водные потоки управляются дамбами, обслуживающими колебания уровня воды озера в пределах диапазона 2-3 м. Поскольку вариации осадков значительно больше, чем годового притока, изменения уровня воды в озере, прежде всего, зависят от обилия дождей в течение года.

Средний годовой уровень воды в оз. Тайху составляет 3-3.12 м, его минимальные значения - 1.76-2.25 м максимальные - 4.73-4.98 м. Вариабельность уровня воды незначительная, как в годовом, так и в многолетнем разрезе. Максимальная вариабельность - 1.98-2.24 м, минимальная - 0.75-1.11 м (Yiping H. et al., 1995). В год средней водности подъем уровня



**Рис. 3.19.** Показатели качества воды оз. Тайху по данным Yiping H. et al., 1995.

воды в озере начинается в мае и связан с прохождением дождевых паводков на питающих его реках. Максимум уровня обычно приходится на июль-август. С окончанием сезона дождей уровень быстро падает, и остается низким до апреля, минимальные значения наблюдаются в феврале-марте.

#### **Основные характеристики качества вод**

Озеро гиперэвтрофное. Оно характеризуется небольшой прозрачностью и слабой цветностью. Прозрачность изменяется по озеру от 0.15 до 1.3 м, однако на большей части акватории составляет 0.4-0.5 м. В западной и юго-западной частях озера прозрачность несколько ниже, в юной и северной – выше. Разность значений вызвана особенностью ветровых волнений и течений, а также распределением высшей водной растительности. Там, где прозрачность выше, значения цветности воды обычно меньше (Yiping H. et al., 1995).

Минерализация воды небольшая, среднее значение составляет 164 мг/л. Кислотность среды от нормальной до слабощелочной, pH для восточной части озера составляет 7.98-8.5, для западной – 7.3-8.02. Среди ионов преобладают гидрокарбонаты и кальций,  $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ ;  $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-}$ . Содержание кислорода в целом по озеру достаточно высокое, составляющее в среднем

9.69 мг/л. Оно практически не изменяется по глубине, но существенно варьирует по сезонам. На наиболее загрязненных участках в летние месяцы содержание кислорода может снижаться до 2.5-4.5 мг/л (Yiping H. et al., 1995). Концентрация NH<sub>4</sub>-N составляет 0.108 мг/л, нитраты - 1.39 мг/л (McNaught, et al., 1995). На рис. 3.19 представлены изменения ряда показателей качества воды в течение года.

#### **Основные биологические особенности**

Высшая водная растительность представлена 61 видом, принадлежащим к 29 семействам, 45 родам (Yiping H. et al., 1995). Среди воздушно-водных макрофитов многочисленны: тростник (*Phragmites communis*), цицания (*Zizania latifolia*, *Z. cadauciflora*), альтернантера (*Alternanthera philoxeroides*), стрелолист (*Sagittaria Saguijotia*); среди плавающих: эйхорния (*Eichhornia crassipes*), чилим (*Trapa incisa var. quadricaudata*), эвриала (*Euryale ferox*); среди погруженных: валлиснерия (*Vallisneria spiralis*), рдест (*Potamogeton malaianus*, *P. crispus*, *P. minima*), гидрилла (*Hydrilla verticillata*). Воздушно-водные макрофиты занимают 5000 га площади Восточного Тайху и 3600 га в Западного (Yiping H. et al., 1995).

Фитопланктон представлен 97 видами. Наиболее представительны зеленые водоросли, которых насчитывается 39 видов, 25 диатомовых, 19 - сине-зеленых, 5 криптофитовых, по 3

золотистых, динофлагеллят и эвгленид (Yiping H. et al., 1995). Сине-зеленые многочисленны в течение всего года и представлены: *Microcystis flos-aquae*, *M. aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, периодически весной и летом доминируют криптофитовые: *Cryptomonas erosa*, а весной и осенью - диатомовые: *Melosira granulata*, *Cyclotella*, *Navicula*, *Nitzshia*. Средняя численность фитопланктона 38.17 млн. экз/л, средняя биомасса 7.31 мг/л (Yiping H. et al., 1995).

Зоопланктон представлен 79 видами, из которых 22 - одноклеточные, 30 коловраток, 19 ветвистоусых рачков и веслоногие ракообразные. Одноклеточные организмы преобладают по численности (около 75%), однако из-за своих размеров имеют небольшую биомассу (4.2%) (Yiping H. et al., 1995). Наиболее многочисленны: *Tintinnopsis* spp., *Sirobilidium velox*, *Paramesium* sp., *Diffugia* spp.; Коловратки значительно распространены в течение лета и представлены: *Polyarthra* sp., *Brachionus* spp., *Keratella cochlearis*; ветвистоусые рачки также наиболее многочисленны летом: *Simocephalus* sp., *Bosmina fatalis*, *B. longirostris*, *Ceriodaphnia cornuta*, *Diaphanosoma sarsi*, *D. brachyurum*, *Monia*, среди веслоногих ракообразных наиболее представительны циклопы (LBRI&ILECF. 1988, Yiping H. et al., 1995). Средняя численность зоопланктона составляет 2054 экз/л, а биомасса - 2.14 мг/л, из которой 45% приходится на веслоногих ракообразных, 39% на ветвистоусых раков и 12% на коловраток. Сезонный пик зоопланктона наблюдается летом, высокая численность также сохраняется осенью (Yiping H. et al., 1995).

Бентос представлен 59 видами (Yiping H. et al., 1995). Наиболее многочисленны представители двустворчатых моллюсков (*Corbicula fluminea*) и брюхоногих (*Stenothyra glabra*, *Viviparus quadratus*). (LBRI&ILECF. 1988). Средняя численность бентоса 336.9 экз/м<sup>2</sup>, средняя биомасса - 82.7 г/м<sup>2</sup>. Пик численности приходится на июль, а также на май и октябрь (Yiping H. et al., 1995)..

В озере около 106 видов рыб, принадлежащих 15 отрядам, 24 семействам. Преобладают карповые, представленные 54 видами (Yiping H. et al., 1995). Среди видов, имеющих экономическое значение, представители семейства анчоусовых (*Coilia brachygnathus*),

корюшковых: (*Protosalanx hyalocranius*, *Neosalanx tankahkeii taihuensis*), многочисленные представители семейства карповых: черный амур (*Mylopharyngodon piceus*), белый амур (*Stenopharyngodon idellus*), белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), пестрый толстолобик (*Aristichthys nobilis*), карп (*Cyprinus carpio*), золотая рыбка (*Carassius auratus auratus*), черный амурский лещ (*Megalobrama* sp), белый амурский лещ (*Parabramis pekinesis*), верхогляд (*Erythroculter* spp.), кони (*Hemibarbus maculatus*), семейства головешковых: ротан (*Eleotris fusca*), семейства перцихтовых: китайский окунь (*Siniperca* spp.), а также змееголов (*Ophiocephalus argus*), и речной угорь (*Anguilla japonica*) (LBRI&ILECF. 1988). Озеро известно своей высокой продуктивностью рыбы и краба, и аквафермами на побережье, применяющими современные технологии. Рыбная продуктивность составляет 14000-16000 тонн.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Тай составляет 36500 км<sup>2</sup> (Bi et al., 2009). Оно расположено на границе провинций Цзянсу и Чжэцзян, на плотно заселенной плодородной Восточно-Китайской Равнине. В 2000 г. средняя плотность населения составляла в регионе 928 чел/км<sup>2</sup>. Это один из наиболее экономически развитых регионов Китая. На уровень 2003 г здесь проживало около 3% населения страны, тогда как доля региона в общем НВП составляла 11% (Bi et al., 2009). При этом площадь водосбора - лишь 0.4% от площади страны. Развитость экономики сочетается с высоким уровнем жизни.

Важнейшей отраслью местной экономики традиционно является сельское хозяйство, прежде всего возделывание риса, кроме того, в северной части водосбора выращивают пшеницу, кукурузу, сорго и многие др. культуры. Регион озера Тайху издревле считается центром шелководства в Китае. Огромное значение в регионе играет промышленное производство. Исторически местная экономика ориентировалась на легкую промышленность — текстильную индустрию и индустрию продуктов питания. С середины XX в. активное развитие получила тяжелая промышленность — химическая индустрия, металлургия, индустрия строительных материалов, нефтяная промышленность, позже к

ним добавились машиностроение и производство электроники. Особенно высокие темпы увеличения промышленного производства наблюдались с 1980-х гг.

Оз. Тайху и впадающие в него реки являются важнейшим источником воды для жителей и быстро развивающейся промышленности Шанхая, Уси, Сучжоу и др. городов. Озерная вода используется для коммунальных, сельскохозяйственных нужд. Кроме того, в озере происходит разведение аквакультур, развито рыболовство, судоходство, осуществляется контроль уровня воды. Для питья озерную воду использует около 30 млн. чел., проживающих в провинциях Цзянсу, Чжэцзян и в муниципалитете Шанхая (Vi et al., 2009).

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

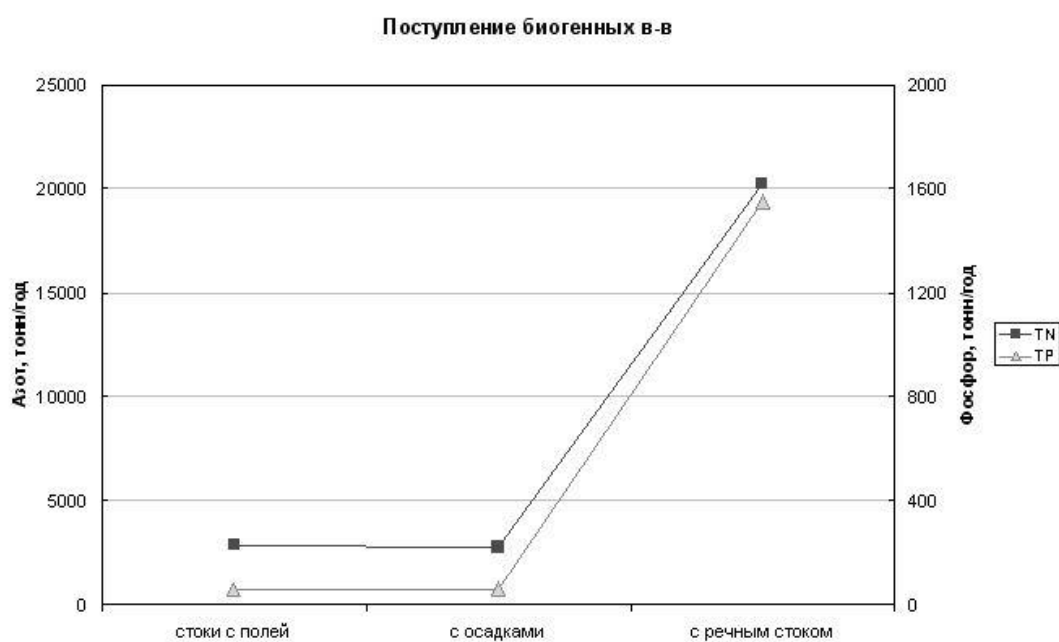
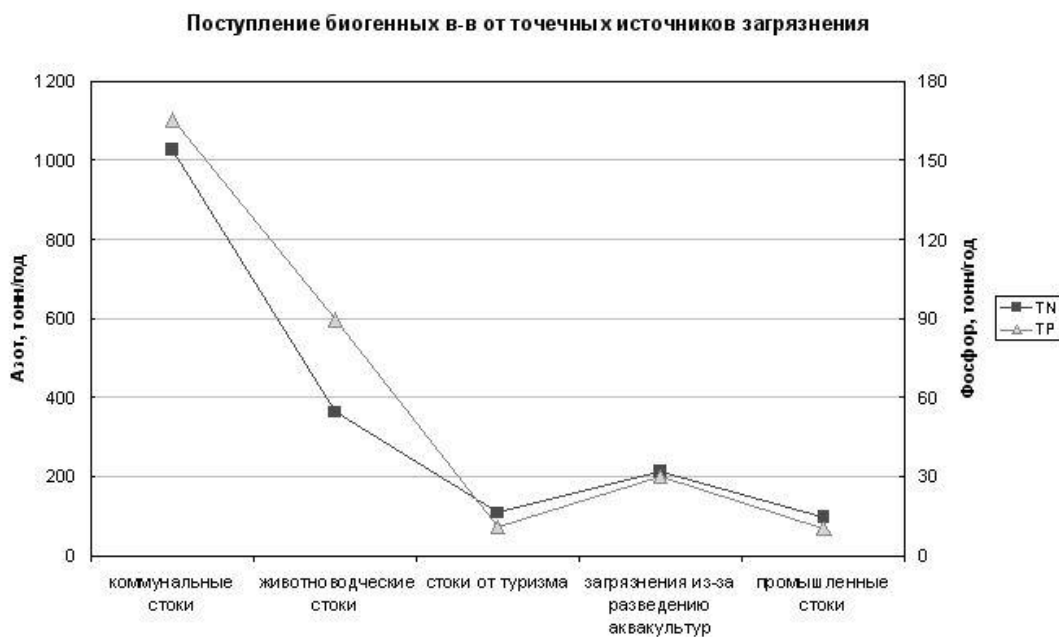
В результате антропогенной активности оз. Тайху с 1950-х гг. испытывает ряд изменений. В основном на него воздействуют три типа факторов: конструкция дамбы и плотины при выходе из озера; увеличение использования болот и литорали; антропогенное загрязнение озера. Дамба и плотина были созданы при выходе из озера с целью управления водными ресурсами и контроля уровня. К сожалению, кроме выгод плотина негативно отразилась на рыбных ресурсах озера, особенно на видах мигрировавших из озера в реку для отложения икры. Основными коммерческими видами, затронутыми конструкцией, являются карпы *Ctenopharyngodon idellus*, *Mylopharyngodon piceus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*.

Увеличившееся в 1950-е гг. использование болот и литорали значительно сократило размеры озера. Общая площадь литорали, перешедшей под сельскохозяйственные нужды и пруды, между 1950 и 1980 гг. составила 160 км<sup>2</sup>. Наиболее высокие темпы конверсии наблюдались в 1970-е гг. Процесс был приостановлен правительственными решениями лишь в 1980-х гг., поскольку в результате такой хозяйственной деятельности было выявлено исчезновение ряда малых озер и существенное снижение площади больших. Однако, правительственная программа по возвращению сельхозугодий, разработанная в 1990-е гг. пока не вызывает приветствия у населения и не ясно, как она будет осуществляться.

Конверсия озерных площадей под рисовые чеки и рыбные фермы привела к сокращению площадей, занятых водной растительностью, необходимой для многих литоральных видов при икрометании и вызревании. В результате многие виды, нуждающиеся в этой растительности, существенно сократили свою численность, прежде всего это *Cyprinus carpio* и *Carassius auratus*. Со снижением численности карпа в озере стали доминировать небольшие виды, живущие в открытой воде и питающиеся зоопланктоном. Увеличение их численности угнетающе отразилось на популяции зоопланктона, что, в свою очередь, привело к усилению позиций фитопланктона. Комбинированное воздействие конструирования дамбы и литоральной конверсии значительно изменили трофическую динамику и рыбную популяцию озера. Использование литорали между побережьем и островами сформировало заливы и изменило циркуляцию воды, увеличило норму накопления осадков, усилило эвтрофикацию и загрязнение. На сегодняшний день встает вопрос о реализации полномасштабной программы по восстановлению рыбных запасов.

В пределах 5-8 километровой зоны вокруг озера протягиваются тысячи гектар пашни, сотни промышленных предприятий и шахт, расположено множество небольших и средних городов. Все они разгружают свои стоки в озеро, негативно сказываясь на качестве озерной воды. Особенно сильные качественные изменения имеют место после 1980-х гг. Из-за использования озерной воды в питьевых целях, ее загрязнение представляет серьезную опасность.

На сегодняшний день в регионе около 500000 га заливных полей (Zhou et al., 2003). Согласно данным Ellis et al. (2000) с изменением сельскохозяйственного производства от традиционного к современному, связанному с использованием химических удобрений, содержание азота в почвах водосбора с 1930 по 1995 гг. повысилось на 20%. Наряду с азотом также значительно возросло и содержание фосфора. Норма использования фосфорных удобрений составляет в настоящее время 25-35 кг/га год, хоть, согласно Zhou et al. (2003), для почв достаточно 13.5 кг/га. Огромное количество фосфора ежегодно накапливается в почве и благодаря процессам выщелачивания попадает в реки и, затем, в озеро. Общий ежегодный приток в озеро азота и фосфора с полей



**Рис. 3.20.** Поступление биогенных веществ в оз. Тай, по данным Yiping H. et al., 1995

составляет 2877 и 55.8 тонн, и с речным стоком – 20241 и 1552 тонны, соответственно (Yiping H. et al., 1995). В пределах водосбора выращивается около 800000 свиней и овец, 75000 кроликов, около 5000000 домашних птиц. Стоки животноводства ежегодно добавляют в озеро 363 тонны азота и 89 тонн фосфора (Yiping H. et al., 1995). В результате общее поступление биогенных веществ в озеро огромно (рис. 3.20). И хоть в настоящее время использование удобрений на водосборе резко сокра-

щено, и можно ожидать снижение концентрации азота в почве, биогенное вещество, накопившееся в донных грунтах, еще долго будет являться дополнительным источником внутренней биогенной нагрузки.

Крайне негативное влияние на озеро оказывают промышленные стоки, количество которых резко растет в связи с активными темпами индустриального развития на водосборе. Стоки многочисленных фабрик, размещенных в пределах водосбора, из-за несовершенства систем

очистки разгружают в речную сеть и в озеро стоки, содержащие биогенные вещества, сульфиды, фенолы, ртуть, хром и прочие загрязнители. Высокое содержание металлов, включая ртуть и мышьяк, было обнаружено в донных отложениях и рыбе. В начале 1980-х гг. большая часть проб, взятых в озере, содержала воду II класса. К 2003 г. большинство проб, отобранных в разные сезоны в восточной части водоема, содержало воду III класса (около 16.5% акватории озера), на большей части озера – IV (75.3% акватории), а в наиболее загрязненных заливах – V класса (8.2% акватории) (Vi et al., 2009).

В результате обильного загрязнения озеро Тай имеет на сегодняшний день гипертрофный статус (Jiao et al., 2006). Весной, летом и осенью на озере наблюдается активное цветение сине-зеленых, среди которых наиболее многочислен вид *Microcystis aeruginosa*. Цветение особенно обильно происходит в трех северных заливах озера. Типичным примером является Залив Улиху, его прозрачность за полвека сократилась с 2.5 м до 30-50 см. Аммонийный азот составляет в заливе более 4 мг/л летом и 7 мг/л зимой-весной. При отсутствии соответствующей программы контроля за поступлением биогенных веществ, процесс эвтрофирования озера не прекращается. Быстро растущей зловонной растительностью ежегодно покрывается до 800 км<sup>2</sup> его акватории. (Vi et al., 2009). Ситуация часто значительно ухудшается в мае месяце в силу активного развития в это время фитопланктона. Величайшим экологическим бедствием был признан небывалый расцвет сине-зеленых осенью 2007 г. (Wu et al., 2008)

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

С целью улучшения качества озерной воды Китайские правительственные должностные лица установили новые законы для регулирования промышленных стоков. Китайская национальная Администрация Защиты окружающей среды провела несколько национальных исследований озера, чтобы более полно понять проблемы его загрязнения. Было признано, что важнейшим фактором, сдерживающим очистку озера, являлись противоречия и плохое взаимодействие между местными и государственными службами (Wang et al., 2004). Постоянный контроль и управление индуст-

риальным загрязнением должны осуществлять местные Агентства по охране окружающей среды, однако они часто испытывают недостаток в фондах и/или оборудовании и многие индустриальных стоки не очищаются.

Существенные изменения государственной политики в отношении оз. Тай произошли после катастрофического «цветения воды» в 2007 г. Китайское правительство постановило очистить озеро к 2012 г. Азиатский Банк развития предоставляет значительную ссуду для осуществления этого проекта, обсуждается также возможность участия Мирового Банка. В решении вопроса задействованы Комиссии по Национальному Развитию и Реформе на государственном и региональном уровнях, Бюро по охране окружающей среды, Водное Бюро, Китайская Академия Наук и ряд университетов (ACEDP, 2009). Снижению загрязнения должна способствовать политика интегрированного управления водными ресурсами. Комплексный проект управления водными ресурсами бассейна оз. Тай был запущен в декабре 2007 г. (Vi et al., 2009). В рамках проекта, местное правительство ставит перед собой ряд задач, в том числе снижение ХПК и концентрации большинства биогенных веществ. Так, согласно проекту, поступление общего фосфора к 2012 г. должно быть снижено с 10.4 тыс. тонн (уровень 2005 г) до 8.2 тыс. тонн, а общего азота – со 141.6 до 108.4 тыс. тонн (Vi et al., 2009). С этой целью предполагается: ввести строгий контроль поступления точечных загрязнений, улучшить очистку сточных вод и модернизировать систему утилизации отходов, улучшить контроль площадного загрязнения, начать программу по экологическому восстановлению водоема, перебрасывать периодически в озеро дополнительную воду для разбавления, осуществить модернизацию промышленного производства, способствовать развитию научных технологий. Критерии, по которым вода будет оцениваться как прошедшая должную очистку, ужесточатся, предприятия, которые не смогут обеспечить должную очистку стоков будут закрыты. Предполагается введение экономических инструментов стимулирования, таких как платежи за загрязнения и экологический риск, значительные штрафы за несоблюдение экологического законодательства и субсидии за введение экологичных производств и энерго-сберегающих технологий (Wang et al., 2004). Значительное финансирование выделено на



программу регулярного мониторинга.

Одним из способов борьбы, применяемых на оз. Тайху для борьбы с сине-зелеными водорослями в рамках проекта, является биоманипуляция. С 2009 года прибрежные города Сучжоу, Уси, Чанчжоу и Хучжоу совместно инициировали проведение "Праздника выпуска рыбы". В феврале 2010 г. в озеро было выпущено более 20 миллионов мальков разных пород рыб. Для покупки мальков выделили 8.6 миллиона юаней (1.26 миллиона долларов).

### 3.5. ОЗЕРО БАНГВЕУЛУ (БАНГВЕОЛО)

Озеро Бангвеулу (Бангвеоло) - крупнейшее мелководное озеро или водная система, расположенная в Замбии, в верховьях р. Конго, и объединяющая озеро Бангвеулу, болота Бангвеулу и пойму Бангвеулу (рис. 3.21). Озеро расположено в широкой плоской заболоченной котловине, поросшей тростником, папирусом и камышом, а также другой водной растительностью. Его контуры в значительной мере условны: низкие топкие берега заливаются даже при очень небольших подъемах уровня, поэтому в различные сезоны года очертания озера изменяются. Только западная часть озера и некоторые острова имеют достаточно четко очерченную береговую линию, с песчаными берегами, однако даже здесь ряд заливов и эстуариев окружены топкими болотами. Координаты озера при разливе: 10°15'-12°30'ю.ш.; 29°30'-30°33'в.д. в период низкой воды водная поверхность значительно сокращается: 10°52'-11°27'ю.ш.; 29°33'-30°01'в.д., урез воды находится на высоте 1140 м над уровнем моря. Для озера характерна череда песчаных хребтов, протягивающихся с юго-запада на северо-восток и разделяющих его на три секции, параллельно главной оси. «Бангвеулу» означает "место, где вода встречает небо". Озеро впервые среди европейцев открыл Ливингстон в 1868 г (Livingstone, Waller, 1874). Он посетил его северо-западные берега и совершил небольшую поездку по озеру на пироге, но осмотреть все озеро не смог: на его карте оно имеет большие размеры, чем на самом деле.

Оз. Бангвеулу образовалось в результате затопления единого неглубокого тектонического прогиба. Во второй половине четвертичного периода р. Ловуа, приток Лоулабы-Конго, прорезала, благодаря пятающейся эрозии,

северо-восточный край котловины оз. Мверу и перехватила его сток. Уровень озера, до того располагавшийся на сотню метров выше, чем в настоящее время, резко понизился. Это способствовало усилению эрозии впадающих в него рек, и одна из них, Луапула, перехватила сток протозера Бангвеулу. Так возникла единая озерно-речная система р. Чумбеши - оз. Бангвеулу - р. Луапула - оз. Мверу - р. Лувуа, играющая роль восточного истока р. Конго.

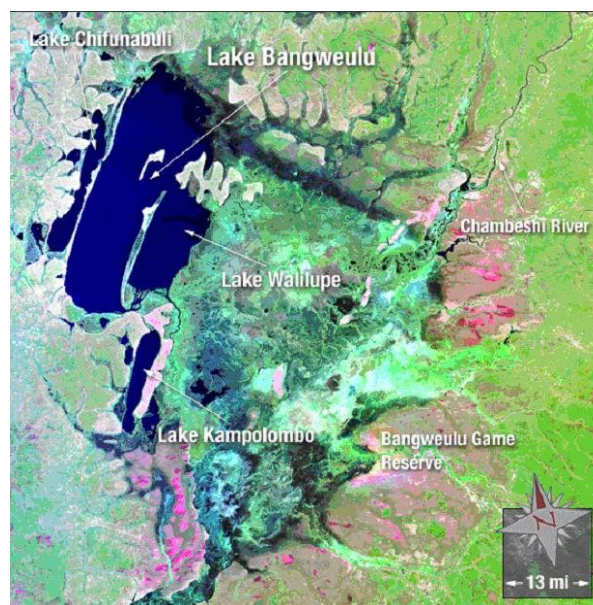
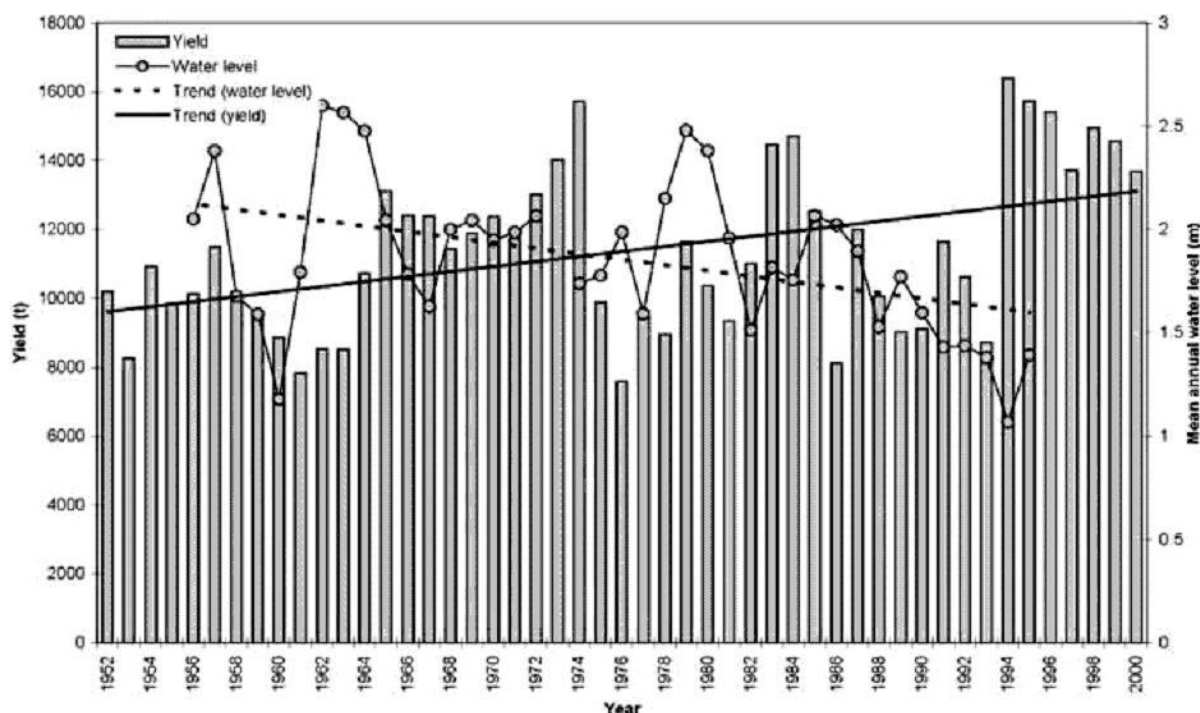


Рис. 3.21. Озеро Бангвеулу. Фото NASA

В сухой сезон озеро отступает на северо-запад, оставляя на юго-востоке обширные болота с сетью небольших озер и лагун, протягивающихся на сотни километров. Само отступившее озеро в это время подразделяется на ряд более или менее самостоятельных водоемов, в том числе наиболее крупное, непосредственно оз. Бангвеулу с площадью около 1720 км<sup>2</sup>, а также озера Валилупе (585 км<sup>2</sup>), Чифанаули (225 км<sup>2</sup>), Камполombo (155 км<sup>2</sup>), Кангвена (47 км<sup>2</sup>) и др. (Greboval et al, 1994). Все озера соединяются между собой сетью каналов, протянувшихся по обширной заболоченной территории. Общая площадь открытой воды в сухой сезон составляет по разным сведениям от 2735 км<sup>2</sup> (Тоews 1977) до 4000 км<sup>2</sup>. Во влажный период площадь водной поверхности оз. Бангвеулу значительно увеличивается, многочисленные озера и лагуны собираются в единую громадную мелководную чашу, заливая площади до 9000-15000 км<sup>2</sup>. В периоды высокой воды заливаются не только болота, площади которых оцениваются Тоews



**Рис.3.22.** Динамика уловов на оз. Бангвеулу за 1952-2000 гг. и ход среднегодового уровня воды в этот период. Источник: Jul-Larsen (2003).

(1977) в 5170 км<sup>2</sup>, но также и часть травянистой поймы площадью 7100 км<sup>2</sup>. Согласно данным Ramsar... (2006), средняя глубина той части озерно-болотного комплекса, которая в течение всего года представляет из себя области открытой воды, составляет около 4 м, в том числе непосредственно оз. Бангвеулу - 4.7 м, при максимальной глубине - 10.4 м, озера Чифанаули – 2 и 3 м, соответственно, озера Валилупе - 3.3 и 5.4 м, оз. Камполомбо – 2 и 3 м. По данным Jul-Larsen (2003) средняя глубина всего водно-болотного комплекса Бангвеулу, включая его болотную часть, во второй половине XX в. изменялась в пределах от 1 до 2.5 м (рис. 3.22).

По болотам Бангвеулу со стороны озера в направлении р. Луапула прорезана сложная сеть каналов, периодически забиваемых растительностью, так что навигация здесь практически невозможна. Скопления папируса могут достигать такого объема, что протиснуться между ними можно лишь на каноэ. Лишь в периоды разлива река Чумбеши, впадающая несколькими рукавами в озеро с востока, получает через пересекающие болото протоки непосредственное соединение с р. Луапулой. С колониальных времен

предпринимались попытки наладить на озере навигацию, однако почти безуспешно.

***Климат. Характеристики термического режима. Характеристики водного режима и водного баланса***

Климат региона тропический, в течение года здесь выделяются три сезона: сухой и прохладный с апреля по август, сухой и жаркий с августа по октябрь и теплый и влажный с ноября по апрель. Количество годовых осадков в бассейне озера составляет от 1100 до 1500 мм. Основные дожди выпадают с января по март с максимумом в январе (около 300 мм). Температура воздуха изменяется в течение года от 16 до 36°C, температура воды в озере - от 18.3 до 27.3°C.

В озерно-болотный комплекс впадает 17 рек, среди которых наиболее крупным притоком является р. Чумбеши (площадь водосбора 32019 км<sup>2</sup>). Значительная часть питающих комплекс рек втекает в его болотную часть, особенно много с востока и юго-востока. Реки Луена, Лупоши и Литандаши питают непосредственно озеро Бангвеулу. Кроме того, существенную часть приходной составляющей водного баланса представляют осадки, выпадающие на поверхность озерно-болотного комп-

лекса, их ежегодное количество оценивается в 1200 мм. Около 90% поступающей в озеро воды, тратится на испарение и транспирацию водной растительностью, составляющие по оценкам 1642 мм. Отток из озера проходит по р. Луапула (годовой сток 13.9 км<sup>3</sup>).

Уровень воды оз. Бангвеулу подвержен значительным колебаниям, его среднегодовые флуктуации составляют 1.3 м (Jul-Larsen, 2003). Медленный подъем уровня начинается в период интенсивных дождей, выпадающих с ноября-декабря, а его максимум приходится на март-июнь, когда в озеро успевают поступить вода со всего болотного комплекса. К сентябрю, когда периферийные болота успевают высохнуть, уровень воды падает до своих минимальных значений, сохраняющихся до ноября-декабря. Даже небольшие перепады уровня воды в озере влекут за собой значительные изменения площади открытой водной поверхности.

#### **Основные характеристики качества вод**

Озерная вода характеризуется очень низкой минерализацией, 41-89 мг/л, ее электропроводность составляет всего 20.1-29.6 мкS/см, это один из наиболее пресных водоемов Африки. Прозрачность колеблется от 0.6 до 1.7 м, ее наибольшие значения отмечаются для основного озера. Реакция среды близкая к нейтральной, рН в озере - 6.9-8.2, в болотной части - от 6.5-6.9 в центре до 5.9-6.5 по периферии. В ионном составе доминируют гидрокарбонаты,  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . Щелочность - 0.31-0.46 мг/л. Содержание кислорода от 40 до 100%, более высокие значения в областях открытой воды (Bos and Ticheler 1996). Концентрация  $\text{SiO}_2$  - 11.5-16.0 мг/л (Greboval et al, 1994). Озеро Бангвеулу и окружающие его болота отличаются низким уровнем трофности, содержание хлорофилла-а составляет менее 5 мкг/л (Bos and Ticheler 1996), таким образом, все авторы характеризуют озеро как олиготрофный водоем.

#### **Основные биологические особенности**

Высшая водная растительность озерно-болотной системы Бангвеулу представлена такими воздушно-водными макрофитами как тростник (*Phragmites communis*, *P. pungens*, *P. mauritanus*), папирус (*Cyperus papyrus*), камыш (*Scirpus* spp.), болотница (*Eleocharis dulcis*), кочия (*Kotschyia africana*), а также другой водной растительностью, в том числе плавающей:

кувшинками (*Nymphaea* sp.), воссией (*Vosia* sp.). Густые заросли растительности способствуют извлечению из речной воды большей части биогенного вещества. В результате озеро характеризуется невысокой первичной продуктивностью и низкими концентрациями фитопланктона, в котором доминирующая роль принадлежит сине-зеленым (*Cyanophyta*) и десмидиевым водорослям (*Desmidiáles*).

В зоопланктоне широко распространены коловратки, веслоногие ракообразные, представленные *Tropodiptomus symoensi* и ветвистоусые рачки. Среди бентосных беспозвоночных доминируют малощетинковые черви и комары-звонцы (*Chironomidae*) встречается по крайней мере 7 видов брюхоногих моллюсков в т.ч. *Lymnaea natalensis*, *Bulinus africanus* и *B. globosus*, *Biomphalaria pfeifferi* и 8 двусторчатых, в т.ч. *Mutela hargeris schomburgki*, среди пиявок - *Placobdella jaegerskioeldi* (Ramsar..., 2006).

В озере обитает более 80 видов рыб. Наиболее ценными являются цихлиды, в том числе тилохромис (*Tylochromis bangwelensis*), серанохромис (*Serranochromis* spp.), хаплохромис (*Haplochromis* spp.), а также представитель семейства харациновых - африканская тигровая рыба (*Hydrocynus vittatus*), алестовых (*Alestes microphthalmus*), настоящих (*Clarias mossambicus*) и перистоусых сомов (*Synodontis* spp.), семейства карповых (*Abramis brama* и *Engraulicypris moeruensis*), пецилиевых - гирардинус (*Girardinus falcatus*), мормировых (*Gnathonemus* spp.). Около половины вылова приходится на тилапию (*Oreochromis macrochir*) (Ramsar..., 2006).

Озерные рептилии представлены двумя видами крокодилов *Crocodylus cataphractus* и *C. Niloticus*, двумя видами водяных черепах *Pelomedusa subrufra* и *Pelosios subniger*. капским вараном *Varanus exanthematicus angolensis*, сцинками и гекконами (Ramsar..., 2006).

Любительский лов рыбы является важнейшим промыслом для местного населения, кроме того, в озере осуществляется и промышленный вылов. В 1960 - 80-е гг. уловы составляли 7900 - 13000 тонн, в 2000 г. они увеличились до 13500 тонн. На рис. 3.22 представлена динамика уловов за 1952-2000 гг. и ход среднегодового уровня воды в этот же период. По уловам рыбы оз. Бангвеулу занимает лидирующее положение среди водоемов Замбии. Однако, с начала XXI в. чрезмерный

вылов рыбы стал вызывать опасения, поскольку начал угрожать рыбным ресурсам озера, и правительство Замбии даже предприняло ряд попыток по ограничению уловов, а также охоты в регионе. К сожалению, крайняя бедность местного населения, лишённого альтернативных источников питания и дохода, не позволяет пока контролировать биоресурсы, так как браконьерство является для них практически единственной возможностью выжить и прокормить свои семьи.

Оз. Бангвеулу и окружающие его болота формируют благоприятную среду для обитания множества мигрирующих птиц. Здесь обитают пеликаны (*Pelicanus*), колпица (*Plateinae*), фламинго (*Phoenicopterus*), аисты (*Ciconiidae*), гуси, в т.ч. шпорцевый (*Plectropterus gambensis*), ибисы, в т.ч. священный (*Threskiornis aethiopicus*) и каравайка (*Plegadis falcinellus*), дрофы, в т.ч. кафрская африканская (*Neotis denhami*), цапли, в т.ч. королевская цапля или китоглав (*Balaeniceps rex*) и ночная цапля или обыкновенная кваква (*Nycticorax nycticorax*), сережчатый журавль (*Bugeranus carunculatus*), седлоклювый ябиру (*Ephippiorhynchus senegalensis*), белолобая щурка (*Merops bullockoides*), болотная мухоловка (*Muscicapa aquatica*), красногорлая трясогузка (*Macronyx ameliae*), замбийский скворцовый конек (*Macronyx fuellebornii*) и др. Наряду с часто встречающимися видами в болотах селятся и размножаются некоторые очень редкие. Озерно-болотная экосистема Бангвеулу требует тщательной охраны, так как является чрезвычайно ценной в силу своей высокой биологической вариативности.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне. Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Площадь водосбора оз. Бангвеулу составляет 109469 км<sup>2</sup>, он слабо заселен, здесь проживает чуть более 1 млн. чел., наиболее крупный город Самфья расположен на его юго-западном берегу. Кроме побережья, местное население живет также и на многочисленных островах. Важнейшей отраслью для местного населения является рыболовство. Развивается туризм. В 160 км к западу от озера разрабатываются месторождения меди.

Поскольку озерно-болотные угодья Бангвеулу являются важнейшим местообитанием множества мигрирующих птиц, в том числе

редких, их экологическое состояние требует повышенного внимания. С 1991 г. озерно-болотный комплекс Бангвеулу включен в состав территорий, охраняемых Рамсарской Конвенцией. Среди опасностей, способных принести вред экоценозу, прежде всего, называется охота, чрезмерный лов рыбы, а также выпас скота на водосборе. В силу бедности проживающего в бассейне населения запреты на лов зверя и птицы не могут обеспечить сохранность видов, так как многие жители живут исключительно благодаря охоте и рыболовству.

В 2004 г. частная европейская компания по добыче газа огласила свои планы строительства газопровода, протягивающегося через юго-восточную часть озера. Одним из звеньев этого плана являлось строительство дамбы для частичного осушения интересующей компанию секции озера. План встретил резкий протест у местного населения и экологических организаций. После длительных обсуждений и судебных разбирательств компания отступила от первоначального плана, выработав альтернативный проект, в обход озера.

#### **3.6. ОЗЕРО ХАНКА**

Озеро Ханка - самое крупное озеро в северо-восточной Азии, расположенное в центральной части Приханкайской низменности, на границе Приморского края России и пров. Хейлуцзян, Китай (рис. 3.23). России принадлежит 72% площади его водной поверхности, Китаю – 28%, в Китае озеро называется Xingkai. Координаты озера: 44°31'-45°23' с. ш., 132°00'-132°51' в. д., при среднем уровне уреза воды находится на высоте 66 м н. у. м. Озеро имеет овальную форму, вытянутую в меридиональном направлении; его длина - 95 км, наибольшая ширина – 67 км, протяжённость береговой линии – 309 км. Площадь зеркала при среднем уровне воды составляет 4070 км<sup>2</sup>, при мини-мальном – 3940 км<sup>2</sup>, при максимальном – 5010 км<sup>2</sup>, объём заключенной воды - 18.3 км<sup>3</sup>, 12.7 км<sup>3</sup>, и 22.6 км<sup>3</sup>, соответственно. Озеро мелко-водное, средняя глубина – 4.5 м, наибольшая – 10.6 м, северная часть водоема характеризуется большими глубинами. На озере два острова, из них самый большой - Сосновый. В озеро впадает 23 реки, 15 с территории РФ и 8 с территории Китая, вытекает р. Сунгач, левый приток р. Уссури (бассейн Амура).



Рис. 3.23. Озеро Ханка. Источник: Атлас России.

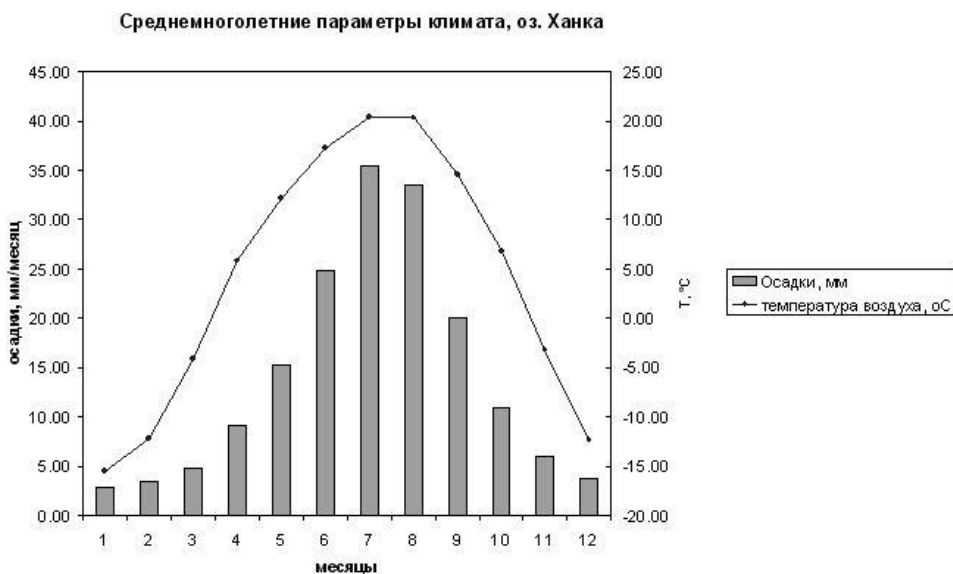
Озёра, образовавшиеся в результате синклинального прогиба, существовали в пределах Ханкайской котловины уже в кайнозое (История..., 1990), они возникли в результате накопления аллювия в речных долинах и образования «аллювиальных плотин». Наиболее интенсивное накопление речных осадков шло при слиянии рек Мулинхе и Усури, где в нижнем плейстоцене возникла крупная аллювиальная дельта. По мере роста «аллювиальной плотины» всё более расширялся озёрный водоём на севере Ханкайской депрессии, и к концу среднего плейстоцена древнее озеро заняло всю низину вдоль реки Сунги, достигнув центральной части современного озера. Наиболее значительный темп аккумуляции осадков в котловине оз. Ханка наблюдался до тех пор, пока в него впадала р. Раздольная (по долине р. Абрамовки). После перестройки речной сети р. Раздольной, приведшей к ее впадению в Амурский залив Японского моря, скорость накопления осадков резко сократилась. Современное озеро сформировалось около 3000 лет назад и в настоящий момент находится в состоянии трансгрессии.

Берега озера большей частью низкие, заболоченные, береговая линия слабо расчленена. Дно

илистое. Береговая зона практически лишена лесной растительности и занята лугами с преобладанием различных видов осок и вейников. Для пониженных участков характерны травяные болота или так называемые плавни – растительные сообщества, образованные различными видами осок и злаковых, они формируют прочную дернину, покрывающую водное зеркало на многие десятки квадратных километров. На водосборе преобладают лугово-лесные, лесостепные и степные растительные сообщества.

**Климат. Характеристики термического режима**

Оз. Ханка лежит в области умеренного муссонного климата восточного сектора материка. Климатические условия в Ханкайской котловине определяются в основном муссонными и местными циркуляционными процессами. Для региона характерны большие колебания сезонных и суточных температур воздуха, при тихой погоде летом котловина хорошо прогревается, а зимой здесь аккумулирует холодный воздух. Среднегодовая температура воздуха составляет около 2° С, средняя температура июля - +20°С, января – -14° – -15°С (рис. 3.24). Продолжительность безморозного периода - 211–217



**Рис. 3.24.** Среднемесячные параметры климата, ст. пос. Камень-Рыболов

дней, снежный покров средней мощности в 30 см сохраняется около 100 дней. Переход среднесуточных температур через  $+5^{\circ}\text{C}$  отмечается 1 мая и 1 октября. В регионе за год выпадает 500-750 мм осадков, из которых на летние месяцы приходится около 80%. Малоснежная зима сменяется сухой и прохладной весной и теплым дождливым летом. Термический режим оз. Ханка мало отличается по своим показателям от других озёр умеренной зоны. Прогревание водоёма до  $4^{\circ}\text{C}$  происходит во второй декаде апреля. После полного разрушения ледового покрова температура воды постепенно растёт и достигает максимума в первой декаде августа ( $24^{\circ}\text{C}$ ). Переход через максимум плотности воды (при  $4^{\circ}\text{C}$ ) происходит к концу октября. Если весной в безлёдный период вода в озере холоднее воздуха, то летом их значения выравниваются. В это время для озера характерно состояние, близкое к гомотермии. При небольшом волнении до 1 балла вода у дна на  $1-2^{\circ}\text{C}$  холоднее, чем у поверхности. Во время штиля разница между поверхностным и придонным слоем может возрастать до  $3^{\circ}\text{C}$  и более, так что в глубоких местах может образовываться временный слой температурного скачка, который, однако, быстро разрушается при усилении ветра. Осенью температура воды в озере выше температуры воздуха и эта разница продолжает существовать до полного выхолаживания водоёма и становления на нём льда. Образование ледяного покрова происходит в ноябре, причем мелководные участки практически ежегодно промерзают полностью (Васьковский, 1978).

### **Характеристики водного режима и водного баланса**

В многолетнем водном балансе оз. Ханка среднегодовой слой атмосферных осадков на поверхность водоема составляет 567 мм, формируя около 54 % его приходной части. Остальные 46 % составляет речной приток, годовой объём которого -  $1.72 \text{ км}^3$ . Основную часть притока приносят реки: Илистая, Комиссаровка, Мильгуновка и Спасовка. Все впадающие реки принадлежат равнинному типу, характеризуются меандрирующими руслами, медленным течением, заболоченными берегами и берут начало в окружающих сопках или окрестных болотах. Расходная часть баланса складывается из испарения с поверхности озера (56 % общих потерь воды) и стока по р. Сунгач (44 %) (Васьковский, 1978). По классификации Б. Б. Богословского, озеро относится к испарительно-дождевым слабопроточным водоёмам, полный обмен воды происходит за 10 лет.

Внутривековые колебания уровня воды оз. Ханка определяются многолетними колебаниями количества атмосферных осадков, носящими циклический характер, а также положением порога стока в истоке р. Сунгачи (Стоценко, Черненко, 1958). За XX век наблюдалось четыре цикла колебаний, а их средняя продолжительность составляла 26 лет. Подъёмы и спады уровня воды совпадали с циклическими колебаниями водности впадающих рек, определяемыми ритмичностью и интенсивностью муссонной циркуляции. В



годы максимального подъёма уровень воды озера достигал 389 см (1973 г.), а при наложении нагонных явлений - 430 см, в годы регрессии он не превышал 200 см. В годы различной водности разница площади акватории водоема составляла 17%, а объема воды - 39 %.

Внутригодовой ход уровня воды в озере и сопредельных водоемах отражает годовой ход осадков, по характеру его колебаний можно выделить три сезона: зима, весна и лето-осень. В зимний период уровень воды изменяется в незначительных пределах (3-5 см). С наступлением весны большое влияние на его ход начинают оказывать ветровые сгонно-нагонные денивеляции. При частых ветрах на озере наблюдаются сгонно-нагонные явления.

### **Основные характеристики качества вод**

Вода в озере пресная, но с повышенным содержанием мути, являющейся результатом частых ветров, вызывающих сгонно-нагонные явления и сильное перемешивание водной толщи. Прозрачность в открытых заливах (Платоновском, Астраханском и Девичанском) в летний период изменяется от 0.15 до 0.35 м, тогда как в закрытом заливе Рыбачьем и бухтах (Тихой), а также в озёрах придаточной системы и нижних частях рек - колеблется от 0.5 до 1.2 м и более (Барабанчиков, Кожевников, 1998). На большей части акватории водоёма содержание взвешенного вещества составляет 45-65 мг/л. Показатель среды рН колеблется в течение годы от 6.5 до 8.5. Содержание кислорода в воде обычно близко к полному насыщению. Даже в зимний период из-за высокой прозрачности ледяного покрова в озере не прекращается развитие фитопланктона, которое выделяет достаточно кислорода для насыщения воды. По химическому потреблению кислорода вода на большей части акватории Ханки относится к классу "чистая", хотя его распределение характеризуется значительной пятнистостью. По содержанию фосфорной нагрузки Ащепкова и Проценко (1991) относят озеро к классу мезотрофных водоёмов. Содержание хлорофилла-а находится в пределах 1.0-15.5 мкг/л, составляя в среднем от 4 до 10 мкг/л, что соответствует биомассе фитопланктона 0.27-0.7 мг/л (Апонасенко и др., 2000).

### **Основные биологические особенности**

В пределах мелководной части озера Ханка существует достаточно широкая полоса выс-

шей водной растительности. Воздушно-водные макрофиты представлены преимущественно тростником (*Phragmites communis*) и рогозом (*Typha*), погруженные состоят из рдестов (*Potamogeton malainus*, *P. compressus*, *P. perfoliatus*, *P. octandrus*, *P. gramineus*, *P. natans*), урути (*Myriophyllum aquaticus*), водяной сосенки (*Hippuris vulgaris*). Плавающие макрофиты представлены чилимом (*Trapa natans*), кубышкой (*Núphar*), наядой (*Nájas*), кувшинками (*Nymphaéa*), роголистником (*Ceratophýllum*), ужовником (*Ophioglossáceae*), спироделлой (*Spirodela*), сальвинией (*Salvinia natans*), рясками (*Lemna trisulca*, *L. minor*), кальдезией (*Caldesia*) а местами - и лотосом (*Nelumbo nucifera*). Основная акватория озера лишена растительного покрова (Виноградов, Гусаков, 1998).

Фитопланктон бассейна озера Ханка считается пока еще недостаточно исследованным. Согласно ряду источников в видовом составе водорослей отмечено от 174 до 216 видов, принадлежащих к типам зеленых водорослей, сине-зеленых, диатомовых, эвгленовых, желто-зеленых, криптофитовых, золотистых и динофлагеллят. Большее число видов являются широко распространенными. Основу альгофлоры оз. Ханка формируют зеленые водоросли, эта группа является наиболее многочисленной и разнообразной в видовом отношении и насчитывает 90 видов; наиболее часто встречаются: *Cosmarium*, *Scenedesmus*, *Closterium* и *Pediastrum*. Также многочисленны диатомовые, в систематической структуре которых ведущее место по количеству видов занимают роды *Nitzshia*, *Navicula* и *Gomphonema*. Сине-зеленые водоросли представлены 21 видом, наибольшее видовое разнообразие отмечено для родов *Oscillatoria* и *Anabaena* (Никулина, 2003, 2006). По сезонной динамике биомассы фитопланктона и его видовому составу озеро можно отнести к мезотрофным водоёмам с чертами олиготрофности. Показатель первичной продукции изменяется от 0.20 до 0.76 г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> в сутки, а деструкции органического вещества от 0.32 до 0.80 г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> (Щур и др., 2000).

Зоопланктон озера представлен в основном широко распространёнными видами, которых в его сообществе насчитывается 173. Большую часть безлёдного периода из веслоногих ракообразных доминируют: *Epischura chankensis*, *Mesocyclops dissimilis*, *Diacyclops bicuspidatus*, а из ветвистоусых рачков: *Daphnia longispina*, *Diaphanosoma chanken* и *Bosmina fatalis*, составляющие в сумме 80-90% общей

биомассы зоопланктона. В сентябре-октябре среди доминирующих видов появляется также веслоногий рачок *Boeckella orientalis*. Зимой почти вся биомасса (на 99%) состоит из *E. chankensis* (Барабанщиков, 2000). Среди водных беспозвоночных зарегистрировано 550 видов из 280 родов и 130 семейств. Около 60% видового состава водных беспозвоночных составляют амфибиотические насекомые. В прибрежных зарослях озера наиболее много-численны водные насекомые из отряда поденок и ручейников. Среди водных беспозвоночных имеется 8 видов, занесенных в Красную книгу России, это представители типа Mollusca: жемчужницы Даурская и Тиуновой (*Dahurinaia daurica*, *D. tiunovae*), лансеолярии Маака, Ханкайская, Уссурийская, Богатова (*Lanceolaria maacki*, *L. chankensis*, *L. ussuriensis*, *L. bogatovi*), Бугорчатая кристария (*Cristaria tuberculata*), Анемина Булдовского (*Anemina buldovskii*) (Вшивкова, Сушицкий, 2010).

В озере и связанных с ним реках зарегистрировано 85 видов рыб, принадлежащих к 60 родам и 18 семействам (Барабанщиков и др., 2006). Подавляющая часть – общие виды с ихтиофауной других участков бассейна Амура, однако есть и эндемики, среди которых – гольян Черского (*Phoxinus czerskii*) и ханкайская востробрюшка (*Hemiculter warpachovsky*). Наиболее распространёнными видами являются: гольян Лаговского и маньчжурский (*Phoxinus lagowskii*, *P. percnurus*), корейская востробрюшка (*Hemiculter leucisculus*), амурский сазан (*Cyprinus carpio haematopterus*), ханкайский пескарь (*Romanogobio chankaensis*), уссурийский сиг (*Coregonus ussuriensis*), амурская щука (*Esox reichertii*), пёстрый толстолобик (*Aristichthys nobilis*). Также в озере отмечены калуга (*Acipenser dauricus*), амурский осетр (*A. schrenkii*), сибирский таймень (*Hucho taimen*), ленок (*Brachymystax lenok*, *B. tumensis*), сиг-хадары (*Coregonus chadary*), амурский сиг (*C. ussuriensis*), черный амур (*Mylopharyngodon piceus*), амурский язь (*Leuciscus waleckii*), гольян Чекановского (*Rhynchocypris czekanowskii*), белый амур (*Stenopharyngodon idella*), узкоголовый краснопер (*Pseudaspius leptcephalus*), троегуб (*Opsariichthys uncirostris*), мелкочашуйчатый желтопер (*Plagiognathops microlepis*), ханкайский пескарь (*Squalidus chankaensis*), пескарь-губач Черского (*Sarcocheilichthys nigripinnis*), пескарь-лень (*S. sinensis*), амурский носатый пескарь (*Microphysogobio tungtingensis*), китайский ящерный пескарь (*Saurogo-*

*bio dabryi*), конь-губарь (*Hemibarbus labeo*), пестрый конь (*Hemibarbus maculatus*), белый амурский лещ (*Parabramis pekinensis*), верхогляд (*Chanodichthys erythropterus*), горбушка (*Ch. abramoides*), монгольский краснопер (*Ch. mongolicus*), амурская острогрудка (*Culter alburnus*), уссурийская востробрюшка (*Hemiculter lucidus*), ханкайский колючий горчак (*Acanthorhodeus chankaensis*), серебряный карась (*Carassius auratus gibelio*), восьмиусый голец (*Lefua pleskei*), амурский вьюн (*Misgurnus buphoensis*), косатка-скрипун (*Tachysurus fulvidraco*), налим (*Lota lota*), змееголов (*Channa argus*), головешка (*Perccottus glenii*) и др. В Красную Книгу РФ внесены такие рыбы, как сом Солдатова (*Silurus soldatovi*), чёрный амурский лещ (*Megalobrama mantschuricus*), китайский окунь (*Siniperca chuatsi*), желтощёк (*Elopichthys bambusa*), калуга (*Acipenser dauricus*) (Виноградов, Гусаков, 1998). Почти полное отсутствие эндемичных видов свидетельствует о том, что озеро всегда было открытой системой, и его рыбное сообщество формировалось за счет остаточной фауны водоемов котловины озера и заселения представителями фауны Амуро-Уссурийской системы. В настоящее время ихтиофауна обогащается также за счет инвазионных видов, которых на сегодняшний день обнаружено уже 7. Источники значительных инвазий последних лет напрямую связаны с антропогенным фактором, и, прежде всего, с деятельностью рыбоводных хозяйств России и КНР. Наиболее значимые инвазионные виды: судак (*Sander lucioperca*), пестрый толстолобик (*Aristichthys nobilis*), белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), гибридные формы сазана и карпа (*Cyprinus carpio*) (Барабанщиков и др., 2006).

В Ханкайском заповеднике и его охранных зонах зарегистрировано около 330 видов птиц, значительная часть которых находится под угрозой исчезновения, 44 вида занесены в Красную книгу России и 12 видов - в Международную Красную книгу. Через озеро проходит одно из ответвлений Восточно-Азиатского пролетного пути. Во время пиков весенней и осенней миграции эти места посещают около двух миллионов птиц, в том числе до 300000-350000 уток, в основном шилохвость (*Anas acuta*), свиязь (*A. penelope*), касатка (*A. falcata*), чирок-трескунок (*A. querquedula*), 100000-130000 гусей, в основном гуменник (*Anser fabalis*) и белолобый (*A.*

*albifrons*) и 3000-5000 лебедей, в основном кликун (*Cygnus cygnus*) (Bocharnikov, Shebaev, 1996). На Ханке и в пределах заповедника гнездятся такие редкие птицы как японский и даурский журавли (*Grus japonensis*, *G. vipio*), дальневосточный белый аист (*Ciconia boyciana*), средняя белая цапля (*Egretta intermedia*), нырок Бэра (*Aythya baeri*), колпица (*Platalea leucorodia*), сухонос (*Anser cygnoides*), беркут (*Aquila chrysaetos*), орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*), белокрылый погоньш (*Porzana exquisita*), дрофа (*Otis tarda*), ходулочник (*Himantopus himantopus*), азиатский бекасвидный веретенник (*Limnodromus semipalmatus*), райская мухоловка (*Terpsiphone paradisi*) и тростниковая сутора (*Paradoxornis polivanovi*). На пролете отмечаются пискулька (*Anser erythropus*), малый лебедь (*Cygnus bewickii*), мандаринка (*Aix galericulata*), скопа (*Pandion haliaetus*), черный журавль (*Grus monacha*), уссурийский зук (*Charadrius placidus*), охотский улит (*Tringa guttifer*) и сибирская пестрогрудка (*Bradypterus tacsanowskius*) (Нечаев, 2006).

В многочисленных озерах и плавнях Ханки встречается реликтовая дальневосточная черепаха (*Pelodiscus sinensis*), ондатра (*Ondatra zibethicus*), енотовидная собака (*Nyctereutes procyonoides*) и выдра (*Lutra lutra*).

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Общая площадь водосбора озера Ханка составляет 16890 км<sup>2</sup>, в том числе на территории России приходится 15370 км<sup>2</sup>. Здесь расположен ряд крупных населенных пунктов и на начало XXI в. проживало около 350000 чел. В бассейне озера ведется интенсивное сельскохозяйственное и промышленное землепользование и находится одна из крупнейших на Дальнем Востоке РФ сельскохозяйственных зон, где сосредоточено около половины (47%) пашни и более 60% орошаемых земель Приморья, значительная часть которых приходится на рисовые поля. В бассейне производится добыча угля, плавикового шпата и редкоземельных элементов Ярославским ГОКом и добыча угля открытым способом на Павловском, Реттиховском разрезах и Липовецком месторождении.

#### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Из-за несовершенства форм хозяйствования в

агропромышленном и минерально-сырьевом комплексе в бассейне озера Ханка возник ряд экологических проблем, особенно ярко проявившийся в последние пол столетия. Это загрязнение природной среды химическими веществами, деградация почвенно-растительного покрова и водно-болотных угодий (Кравченко и др., 2002). Развитие промышленности привело к существенному загрязнению воды тяжелыми металлами: медью, цинком, алюминием и кадмием. К началу 1990-х гг. уровень загрязнения поднялся настолько, что, согласно "Экологической программе Приморского края" (1990г.), Приханкайская низменность была объявлена зоной экологического кризиса. Наибольшие концентрации были отмечены для меди, в районе пос. Камень – Рыболов неоднократно наблюдалось превышение значения ПДК более чем в 30 раз. Высокие уровни загрязнения цинком, алюминием и кадмием отмечались в районе с. Троицкое, с. Сиваковка, а также в пос. Камень-Рыболов. В 2001 г. ПДК по этим элементам было здесь превышено в 5, 32 и 2 раза, соответственно. Другими загрязнителем озерной воды являются нефтепродукты и фенолы. В 2000-х гг. среднегодовое содержание нефтепродуктов превышало ПДК в 1.2 – 2.4 раза, фенолов – в 2-3 раза. В апреле 2002 года было зарегистрировано чрезвычайно высокое загрязнение нефтепродуктами в районе с. Сиваковка (32 ПДК) (Молокоедова, 2002).

Мощным толчком нарастания процесса негативных воздействий на природную среду в регионе явилось обоснование системы рисосеяния в Приморье в результате которого с конца 1960-х по начало 1990-х гг здесь происходил постоянный прирост посевных площадей. Низкий уровень обработки почв и монокультура - рис создали благоприятные условия для размножения вредителей, болезней, сорняков в борьбе с которыми проводились массовые обработки рисовых полей ядохимикатами. Одновременно для повышения урожайности вносилось большое количество минеральных удобрений. В результате наряду с тяжелыми металлами, нефтепродуктами и фенолами в озеро с сельскохозяйственными стоками стали активно поступать пестициды и используемые для борьбы с сельскохозяйственными вредителями ядохимикаты. В этот же период одной из основных проблем для озера стало его загрязнение биогенными веществами. Наибольший масштаб загрязнение приобрело в период

с 1986 по 1989 гг. Так, в 1988 г. суммарное содержание ДДТ и его метаболитов в озерной воде превышало ПДК в 60-70 раз. В последующее десятилетие в результате экономической стагнации в регионе, связанной с распадом СССР, и уменьшения антропогенного пресса, а также благодаря природно-обусловленному росту водности озера, загрязнение снизилось, и рядом авторов было зафиксировано начало процесса самоочищения озера. Содержание пестицидов во второй половине 1990-х гг. превышало ПДК уже только в 3-10 раз. Однако на рубеже XX-XXI вв. вновь проявилась тенденция к усилению процесса эвтрофикации водоема, обусловленная как некоторым оживлением экономики региона, так и начавшейся фазой низкой водности (уровень воды в озере снизился с 1996 г. по 2001 г. с 321 до 256 см).

В 2000-х гг. воды оз. Ханка и по гидрохимическим, и по гидробиологическим показателям характеризовались от «умеренно загрязненных» до «грязных». В 2007 г. они соответствовала 4 классу, была зафиксирована высокая загрязненность аммонийным азотом 16.4 ПДК, соединениями железа 32 ПДК, меди – 1.6-2.2 ПДК, цинка – 2.9-5.8 ПДК; алюминия – 1.13-1.52 ПДК; фенолами – 2 ПДК. В створе с. Сиваковка качество вод соответствовало классу «очень загрязненная» (Качество ... 2008).

Существенное загрязнение оз. Ханка, а также бесконтрольный вылов привели к тому, что в 1990-х гг. наряду с потерями питьевого качества воды стало происходить и снижение его рыбопромыслового значения - сокращение уловов и изменения в ихтиоценозе, сопровождающееся замещением ценных промысловых видов рыб малоценными. По инициативе ТИНРО-Центра в начале 2000-х гг. на оз. Ханка было даже запрещено промышленное рыболовство. Однако, к сожалению, инициатива российской стороны не была поддержана китайцами, и озеро оказалось закрытым только по его российской акватории. В результате восстановить рыбные запасы водоема в предполагаемом объеме не удалось. Основной причиной неудач называют варварское браконьерство на российской части акватории как с китайской, так и с российской стороны, происходившее на фоне официально продолжавшегося вылова у китайского берега. Спустя пять лет, несмотря на то, что запасы рыбы не успели пополниться, озеро было вновь открыто для рыболовства.

Еще одной проблемой оз. Ханка является существенное заиливание водоема. Питающие его реки выносят в приустьевые участки большое количество рыхлого материала, особенно увеличивающееся в годы повышенной водности. В период высокого подъема воды идет активное размывание низменных торфяных берегов и переотложение органического вещества. В маловодные периоды важной проблемой для озера становится водозабор на орошение рисовых полей. Он осложняют итак не простую в периоды регрессии уровня экологическую обстановку. Резко (в 5-10 раз) снижается численность гнездящихся птиц и успешность размножения загнездившихся.

### *Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера*

В бассейне озера Ханка расположены уникальные природные комплексы международного значения: прилегающие к озеру водно-болотные угодья и остепненные дубовые леса и редколесья. В юго-западной части водосбора сохранились остатки уссурийских широколиственно-кедровых лесов. С 1971 г. озеро включено в список водно-болотных угодий, имеющих международное значение и охраняемых Рамсарской конвенцией. В 1990 г. здесь был организован государственный природный заповедник «Ханкайский», куда вошли участки болот на восточном и южном побережье Ханки. На базе этого заповедника, а также на базе китайского заповедника «Синкай-Ху» в 1996 г. возник международный российско-китайский заповедник «Озеро Ханка», общая площадь охраняемой территории которого составляет свыше 110000 га. При содействии WWF России была создана Смешанная российско-китайская комиссия для координации действий этих ООПТ. Регулярно российской и китайской сторонами вырабатывается совместный план сотрудничества с целью усиления взаимодействия между РФ и КНР в трансграничном заповеднике «Озеро Ханка» по научному исследованию, контролю, проведению пропаганды и воспитания, охране окружающей среды, а также содействия сохранению биомногообразия и обеспечения стабильного и скоординированного развития в региональной экономике. В 2005 г. российский заповедник "Ханкайский", входящий в состав международного заповедника «Озеро Ханка» получил высокий статус биосферного резервата, в 2007 г. такое решение было принято и в отношении китайского заповедника "Синкай-Ху".

## Глава 4. СИСТЕМЫ ВЕЛИКИХ ОЗЕР

Крупные озера нередко образуют единые водные системы. Их образование, как правило, связано с покровным оледенением территории и с климатическими условиями ледниковой эпохи. В результате ледникового выпахивания создавались глубокие котловины, в которых возникали и продолжают непрерывно развиваться до настоящего времени озера. Разное высотное расположение озер привело к образованию между ними рек и протоков. Системы крупных озер имеют выход в моря и океаны.

Наиболее крупными водными системами являются Великие Американские Озера, Великие европейские озера и системы, которые образуют североканадские озера и озера Швеции. Все эти системы играют огромное социально-экономическое значение для собственных стран, и в то же время все они уникальны. В эти системы входят, как правило, 4-5 озер и не только великие, но и озера меньшие по площади, которые вместе с крупными создают единую водную систему и несут свою эколого-географическую нагрузку, поэтому не рассматривать их было бы ошибкой.

В этот же раздел было включено Псковско-Чудское озеро, которое долгое время считалось единым озером. Однако, его можно рассматривать как систему трех озер Псковского, Теплового и Чудского (Пейпси), соединенных довольно широкими протоками и различающихся как по морфометрическим показателям, так и по качеству воды. Хотя озера взаимосвязаны, каждое из них обладает характерными лимническими особенностями.

### ВЕЛИКИЕ АМЕРИКАНСКИЕ ОЗЕРА (ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА СВ. ЛАВРЕНТИЯ)

Система Великих Американских Озер, расположенная в Северной Америке на территориях США и Канады, обладает огромными запасами пресной воды и является величайшей в мире системой пресноводных озер. По объему пресной воды (22,7 тыс. км<sup>3</sup>) система лишь немногим уступает Байкалу (23 тыс. км<sup>3</sup>). Вместе с Байкалом водные ресурсы системы Великих американских озер составляют почти 40% всех мировых запасов пресной воды. Площадь системы - 245,2 тыс. км<sup>2</sup>. К собственно Великим озерам относятся пять круп-

нейших озер: по мере уменьшения площади водного зеркала они распределяются следующим образом Верхнее, Гурон, Мичиган, Эри и Онтарио, по объему водной массы – Верхнее, Мичиган, Гурон, Онтарио, Эри, а по средней глубине – Верхнее, Онтарио, Мичиган, Гурон, Эри (табл. 4.1). Озеро Мичиган находится целиком в США, по остальным озерам и соединяющим их коротким рекам проходит граница между США и Канадой (рис. 4.1). Все эти озера играют огромную роль в национальной экономике США и Канады и являются важнейшим источником водоснабжения. Водой пользуются более 250 городов, в которых проживает почти 25 млн. человек. С юга и юго-востока к озерам примыкают плотно заселенные индустриальные районы США и Канады, с севера и запада – аграрно-сырьевые. Почти 40% тяжелой индустрии США находится в районе Великих озер. Долгое время на территории Канады преобладало сельское хозяйство, поэтому серьезному промышленному загрязнению подвергались территории, принадлежащие США.

На Великих американских озерах расположены крупнейшие города США: Чикаго и Милуоки на озере Мичиган, Буффало и Кливленд на оз. Эри, центр автомобильной промышленности Детройт на одноименной реке вблизи ее впадения в оз. Эри. На озере Онтарио находится второй по величине город Канады – Торонто.

Побережье озер богато минеральными ресурсами, здесь находятся большие запасы железа, никеля, меди, кобальта, серебра, золота, платины, урана. Количество добываемого на этой территории железа и никеля составляет, соответственно, 20% и 56% от мировой добычи. Кроме того, здесь ведется разработка высококачественного известняка, песка, гипса, соли, а также нефти и газа (Beeton, Chandler, 1963, Chandler, 1964).

Трудно представить, что такая развитая в промышленном и сельскохозяйственном отношении территория Великих американских озер в пределах США и Канады начала осваиваться лишь с XVII-XVIII веков. Открытие Великих озер европейскими колонизаторами, исследователями и миссионерами было связано с поисками прохода из Атлантики в Тихий океан, когда были предприняты первые попытки пройти по р. Св. Лаврентия на запад. В 1603-1610 гг французский подданный Шамплен,

**Таблица 4.1.** Морфометрические показатели Великих американских озер по данным Chandler, 1964.

Показатели	Верхнее	Мичиган	Гурон	Эри	Онтарио
Длина, км	560	490	330	385	309
Ширина, км	256	188	292	91	85
Длина береговой линии, км	4768	2656	5088	1369	1161
Площадь озер, км <sup>2</sup> (общая)	82367	58016	59570	25666	19684
в пределах США	53618	58016	23569	12898	9324
в пределах Канады	28749	-	36001	12768	10360
Площадь водосборов, км <sup>2</sup> (общая)	124838	117845	128458	58844	79460
в пределах США	43253	117845	41958	46620	39370
в пределах Канады	81585	-	86500	12224	31080
Максимальная глубина, м	406	281	228	60	244
Средняя глубина, м	148	84	53	17	86
Объем водной массы, км <sup>3</sup>	12221	4871	3535	458	1636
Высота над уровнем моря, м	182.99	176.42	176.42	173.86	74.61
Длина вытекающих из озер рек, км					
Сент-Мэрис	112				
Сент-Клер			43		
Ниагара				59	
Св.Лаврентия					808

с чьим именем связано много открытий в центре североамериканского материка, не раз поднимался вверх по р. Св. Лаврентия, на которой в 1608 г. был основан город Квебек – основной опорный пункт освоения всей территории. Основанные им новые экспедиции в 1614 г. достигли оз. Гурон, в 1615 г. - оз. Онтарио и Верхнее. Только в 1634 г. было открыто оз. Мичиган, а в 1640 г. - оз. Эри. Все это сопровождалось истреблением местного индейского населения и захватом их земель. Заселяя и осваивая новые богатые природными ресурсами земли, европейцы существенно меняли облик этих мест (Магидович, 1962). Система озер преобразовывалась для целей судоходства и энергетики. Великие американские озера имеют различную высоту над уровнем моря: высота над уровнем моря водной поверхности оз. Верхнего -183 м, оз. Мичиган и Гурон – 177 м, оз. Эри -174 м, оз. Онтарио – 75 м. Озера соединены между собой

относительно короткими, порожистыми и многоводными реками (табл. 4.1). Самый большой перепад высот находится между озерами Эри и Онтарио, в среднем течении соединяющей их реки Ниагара находится всемирно известный Ниагарский водопад (высота около 50 м). Остров Козий разделяет водопад на два потока: левый – канадский, шириной около 800 м, через который проходит 95% всего объема стока реки и правый – американский, шириной около 300м. Многоводность реки Ниагары используется и США, и Канадой, здесь построены четыре крупные гидроэлектростанции.

Сток из всей системы происходит по реке Св. Лаврентия в Атлантический океан, средний расход воды реки составляет около 250 км<sup>3</sup> в год (для сравнения годовой сток Волги - 240 км<sup>3</sup>). Это обеспечивает глубоководный внутренний судоходный путь длиной 1873 км (от порта Дулут на озере Верхнем до истока р.



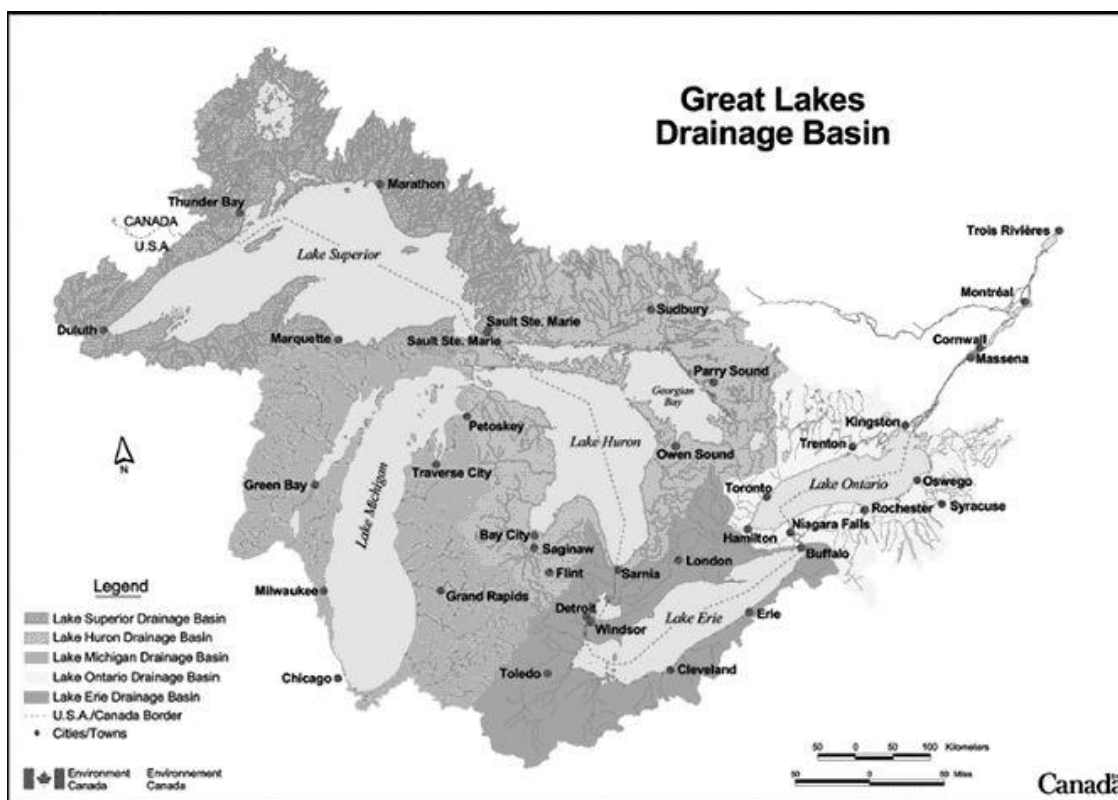


Рис. 4.1. Бассейн Великих Озер. Источник: The Great Lakes Drainage Basin

Св. Лаврентия). Это стало возможным после строительства шлюзованных каналов в обход порогов на реках Сент-Мэрис, Ниагара и Св. Лаврентия. На р. Ниагара уже в 1829 г. был открыт первый канал Уелленд-канал в обход Ниагарского водопада, а в 1932 г. - более широкий и глубокий второй Уеллегнд-канал, что позволило проходить по нему любому современному судну. Проблема судоходства по р. Св. Лаврентия была решена только в 1959 г., когда была реконструирована вся система старых каналов, сооружены новые каналы и семь шлюзов с учетом современных требований судоходства. В настоящее время общая протяженность глубоководных каналов на всем пути Великих озер составляет 270 км, гарантированная глубина – 8.2 м. По озерам постоянно курсирует более 500 крупных судов, перевоза ежегодно почти 20 млн. т зерна, 25-30 млн. т железной руды (Гусаков, Петрова, 1987).

#### **Происхождение озер**

Система Великих Американских озер сформировалась на стыке Канадского щита и Северо-американской платформы. Северная часть озер Верхнее и Гурон сложена докембрийскими породами, которые пред-

ставлены базальтовыми лавами и их вулканогенно-обломочными производными. Эти породы являются древнейшими по сравнению с другими породами (возраст более 2 млрд. лет). Особым типом пород здесь являются железистые формации, являющиеся источником высокосортной железной руды в Северной Америке. Эти образования представляют собой обогащенные железом кремнистые породы или кремнистые сланцы, содержащие 10-30% железа. Южная часть озер Верхнее и Гурон и котловины других озер Мичиган, Эри и Онтарио находятся в пределах Северо-американской платформы (Внутренние низменности), где докембрийское основание перекрыто более молодыми породами (известняки, доломиты, песчаники) (Кинг, 1961).

Котловины Великих озер образовались в результате тектонических движений, доледниковой речной и ледниковой эрозии. Последнее оледенение четвертичного периода, максимум развития которого был приблизительно 25-10 тыс. лет назад, было наиболее важным фактором в формировании бассейнов и котловин озерной системы. Первыми освободились от ледника бассейны Мичигана

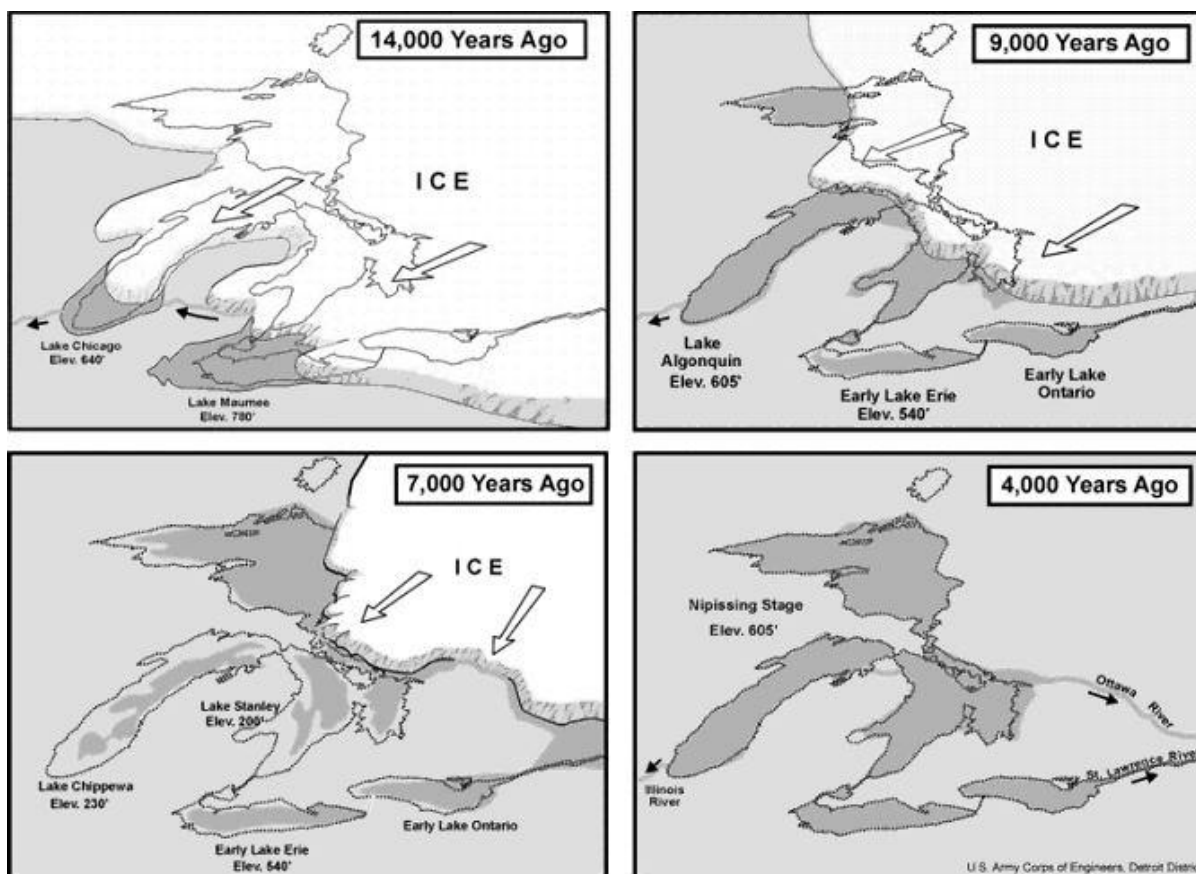


Рис. 4.2. История образования Великих озер. Источник: [http://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Lakes](http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Lakes)

и Эри (рис. 4.2). В более позднюю стадию, когда лед освободил южную часть котловины озер Гурон и Онтарио, появляется новое озеро, названное Альгонкин. Сток из него осуществлялся по реке Сент-Клер к озеру Эри и далее в оз. Онтарио, преодолевая Ниагарский уступ. В момент наибольшего распространения оз. Альгонгин имело площадь около 250 тыс. км<sup>2</sup>. При освобождении от ледника вся эта территория испытывала устойчивое поднятие, море отступало, сток из озер усиливался по мере таяния ледника в верхних озерах системы, озера стали принимать современные очертания. Весь этот процесс завершился всего около 5 тыс. лет назад (Wetzel, 1975).

#### **Физико-географическая характеристика.**

Система Великих американских озер расположена между 48° 10' и 50° 30' с.ш. и между 74° 30' и 93° 20' з.д. Бассейн озер лежит в области влажного, умеренного климата с обильными осадками зимой и летом. Над этой территорией происходит чрезвычайно быстрая смена погодных условий, что обусловлено поступлением сюда контрастных полярных и

тропических воздушных масс с близко расположенных районов Гудзонова залива на севере и Мексиканского залива на юге. Преобладающие здесь ветры - западные, достаточно сильные, которые вызывают значительное волнение на озерах, причем высота волн может достигать 5 метров. Среднегодовая температура воздуха уменьшается с юга на север от 8.8-9.8° С (район озер Эри и Онтарио) до 5.9-5.3° С (район озер Гурон и Верхнее). В таком же направлении уменьшаются максимальные температуры воздуха за месяц - от 21.8-21.9° С до 18.8-19.0° С, а также суммарная годовая солнечная радиация - от 156.6 (оз.Онтарио) до 145.9 Вт/м<sup>2</sup> (оз. Верхнее).

Термический режим самих озер довольно близок, хотя их глубина и широта расположения вносят некоторые поправки. Одна из особенностей всех озер - они полностью не замерзают в зимний период, лед формируется только в заливах и вдоль берегов, его толщина изменяется в пределах от нескольких сантиметров до 1 метра. Начало ледостава - декабрь, основной период вскрытия - март. В отдельные редкие годы только оз. Эри

полностью замерзало. Все озера принадлежат к классу димиктических озер. Максимальная температура на поверхности воды отмечается в июле, и ее среднемесячные значения колеблются в близких пределах  $-18.8-21.9^{\circ}\text{C}$ .

Среднее количество осадков изменяется в пределах 750-1000 мм в год. Достаточно обычным явлением в этом районе является значительная облачность. Подсчитано, что один день в году бывает солнечным только 3-4 часа. Колебания уровня воды в озерах невелики – в среднем от 30 см в год в озерах Гурон, Мичиган, Великое до 60 см – в оз. Онтарио.

Площадь водосбора озер составляет всего 502693 км<sup>2</sup>, что всего в два раза превышает площадь самих озер (рис. 4.1). Это является уникальной особенностью Великих американских озер, поскольку для других больших озер мира площадь водосборного бассейна превышает площадь озер в 6-20 и более раз (Chandler, 1964, Drabkova et al., 1996). Озера резко различаются по времени водообмена: от 191 года в оз. Верхнее до 2.6 лет в оз. Эри.

### *Эвтрофирование и загрязнение озер*

Водосбор Великих американских озер в настоящее время представляет собой крупнейший в мире индустриальный комплекс с развитой транспортной системой, и в первую очередь водной, с разработками полезных ископаемых. Поскольку в хозяйственном развитии региона преобладал рост обрабатывающей промышленности, здесь возрастает доля городского населения. Сельское хозяйство, хотя и достигло высокого уровня развития, в бассейне озер играет важную, но не основную роль.

Интенсивное хозяйственное развитие в бассейне озер, рост населения, рекреационная активность оказывают существенное влияние на качество воды и состояние озерных экосистем. Степень антропогенного воздействия на озера резко различается, что объясняется в первую очередь степенью хозяйственного освоения их водосборов. На территории водосборного бассейна оз. Верхнего расположено лишь небольшое число промышленных предприятий, а интенсивное сельское хозяйство практически не ведется. Почти 90% площади водосбора занимают леса, 4.4% приходится на сельскохозяйственные угодья и только 2.6% занято урбанизированными территориями. Всего на этой территории проживает около 535 тыс. жителей с плотностью

населения всего 4.3 чел. на км<sup>2</sup>. Следствием такой структуры водосборной территории является слабое загрязнение озера Верхнего. Остальные озера подвергаются значительно большему антропогенному воздействию. На водосборе оз. Гурон леса занимают 48%, сельскохозяйственные угодья – 26%, урбанизированные территории – 4%. Здесь проживает 1 млн. 240 тыс. человек с плотностью населения 9.6 чел. на км<sup>2</sup>. Для водосбора оз. Онтарио приведенные данные, характеризующие структуру водосбора, соответственно составляют 52%, 33%, 6.4%, количество проживающих здесь людей составляет 7 млн. 135 тыс. с плотностью населения 94.8 чел. на км<sup>2</sup>. (The Great Lakes. An Environmental Atlas..., 1987, Data Book..., 1988).

Наиболее напряженная обстановка складывается на водосборах озер Мичиган и Эри. В бассейне оз. Мичиган проживает 13.5 млн. человек с плотностью населения 114 чел. на км<sup>2</sup>. Здесь же находится крупнейший промышленный центр Чикаго с населением свыше 3 млн. Леса здесь составляют почти 50%, а сельскохозяйственные угодья – 23%. В бассейне оз. Эри проживает 13.8 млн. человек с плотностью населения 175.8 чел. на км<sup>2</sup>. Из крупных городов здесь нужно отметить город Детройт с населением 1.3 млн. человек. Лес на водосборе занимает 22%, сельскохозяйственные угодья – 63%, урбанизированные территории – 8%. Озеро Эри по сравнению с другими озерами системы более мелководное, что объясняет наиболее существенное изменение его экосистемы под влиянием антропогенной нагрузки.

С началом промышленной революции в США и Канаде в озерах заметно изменились многие химические показатели, прежде всего, изменилось содержание главных ионов, исключение составило лишь оз. Верхнее, где эти показатели оставались практически постоянными. Наиболее заметные изменения произошли в озерах Эри, Онтарио и Мичиган за период 1900-1960 гг. Так, в оз. Эри общее количество растворенных солей увеличилось на 50 мг/л, из них хлориды на 16 и сульфаты на 11 мг/л. В оз. Онтарио соответствующее увеличение составило - 50, 16 и 13 мг/л. В оз. Мичиган заметно увеличилась лишь концентрация сульфатов - на 12 мг/л. Содержание растворенных солей было наименьшим в оз. Верхнее – всего 60 мг/л, в озерах Гурон и Мичиган – 110-150, а в озерах Онтарио и Эри – 180-185 мг/л (Beeton, 1965).

В озера стали поступать со сточными водами токсические вещества, такие как соли тяжелых металлов, хлорорганические соединения, которые в значительном количестве накапливались в донных отложениях и водных организмах. Так, содержание свинца в осадках оз. Мичиган возросло с 40 в 1900 г. до 160 мг/кг сухого веса в 1975 г. (Edgington, Robbins, 1976). В биоте (главным образом рыбе) начали накапливаться хлорорганические соединения. В фореле из оз. Мичиган суммарное содержание ДДТ достигло 1600 мкг/кг сырого веса, полихлорбифенилов - 3000 мкг/кг, в оз. Верхнее эти величины были значительно ниже - соответственно 50 и 200 мкг/кг (цит. по Грачеву, 2002). Таким образом, даже в оз. Верхнее поступали токсические вещества, что прежде всего было связано с атмосферными переносами промышленных загрязнений.

Заметно возросла биогенная нагрузка на озера и особенно фосфорная, что не могло ни вызвать изменения трофического статуса озер. В 1976 г. (Data Book..., 1988) фосфорная нагрузка на озера составляла:

оз. Эри – 17 474 т P/год,

оз. Онтарио - 11 755 т P/год,

оз. Мичиган – 6 350 т P/год,

оз. Гурон – 4 860 т P/год,

оз. Верхнее – 4205 т P/год.

Эти данные четко выделяют озера Эри и Онтарио как наиболее подверженные антропогенному эвтрофированию. Уже в 60-х годах прошлого столетия озера Верхнее, Мичиган и Гурон были отнесены к олиготрофным водоемам, а оз. Эри к эвтрофному. Озеро Онтарио, имеющее большую площадь и значительную глубину, несмотря на существенную фосфорную нагрузку, было отнесено к мезотрофному типу. Увеличение биогенной нагрузки на озера Онтарио и особенно Эри привело к ухудшению их экологического состояния. Так, в озерах Верхнее, Гурон и Мичиган вся толща воды была насыщена кислородом круглый год, в оз. Онтарио в зимний период только 50-60% глубоководных водных масс содержали значительное количество кислорода, а в центральной части оз. Эри гипolimнион был насыщен кислородом менее чем на 10%. Прозрачность воды в системе озер также различалась – в озерах Верхнем и Гурон она в среднем составляла 9.5-10 м по диску Секки, в озерах Мичиган и Онтарио –

5.5-6 м, а в оз. Эри – 4.5 (Beeton, 1965).

Нельзя не отметить серьезный урон, нанесенный озерам и, прежде всего, их рыбному населению биологическим загрязнением. В 1950-х годах во всей системе озер появился вселенец - морской миноги, занесенной океанскими судами. Хищническая деятельность миног быстро подорвала форелевый и сиговый промысел на озерах. Только к 1960-му году удалось с помощью специальных ядов значительно уменьшить численность миног. В настоящее время насчитывают до 140 других видов вселенцев, которые также наносят значительных экологический и экономический ущерб озерам.

Увеличение уровня загрязнения и эвтрофирования озер привело к ухудшению качества их воды. Это потребовало принятия срочных мер по улучшению экологического состояния озер. Уже в 1909 г. была создана Международная Объединенная Комиссия для изучения загрязнения в пограничных районах Канады и США. В рамках этой комиссии были проведены исследования течения, химического режима и санитарного состояния озер Эри и Онтарио (Chandler, 1964). В 1972 году правительство США и Канады подписали первое Соглашение по Качеству воды Великих американских озер. В Соглашении были представлены меры по уменьшению фосфорной нагрузки на озера Эри и Онтарио за счет запретов на его содержание в сточных водах. В 1978 г. это соглашение было дополнено Международным Совместным Соглашением, а в 1983 г. Национальной программой по Великим озерам Агентства защиты окружающей среды США. В этих программах предусматривалось проведение постоянного мониторинга экосистем Великих озер (Barbiero, Tuchman, 2001). Стратегическими направлениями природоохранной политики стали сокращение фосфорной нагрузки, загрязнений, поступающих из воздуха и с суши, а также решение проблем, связанных с загрязнением донных отложений и подземных вод. С конца 1980-х годов, благодаря правовому регулированию, удалось достичь сокращения на 82% количества токсических хлорсодержащих веществ, сбрасываемых целлюлозно-бумажными комбинатами. Было отмечено общее снижение на 70% объемов производства, использования и сброса со сточными водами ряда основных токсических соединений (ЕС 1999b, ЕС 2000, ЕС 2001c). Однако уже в 1990-е годы была выявлена тенденция увеличения пестицидов в

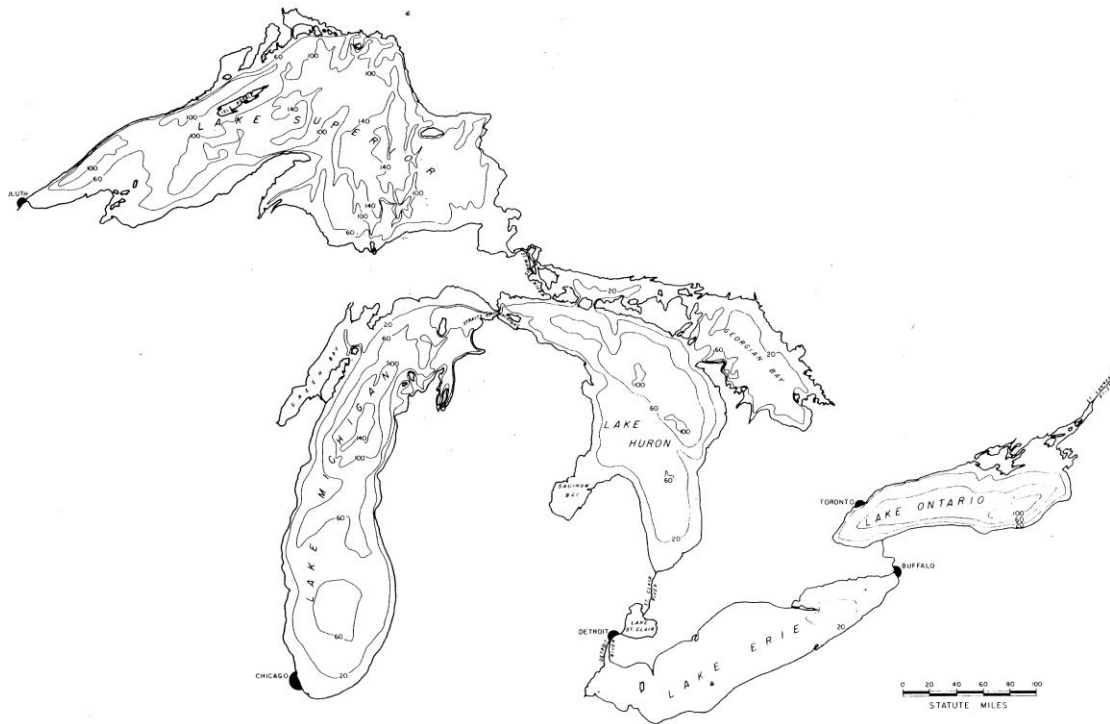


Рис. 4.3. Великие Озера, карта глубин. Источник: Beeton, Chandler, 1963

воде озер, а также содержание некоторых загрязняющих веществ в тканях рыб, появились данные об увеличении фосфорной нагрузки. В настоящее время продолжается финансирование многочисленных совместных программ в рамках подписанных соглашений по охране и восстановлению Великих американских озер.

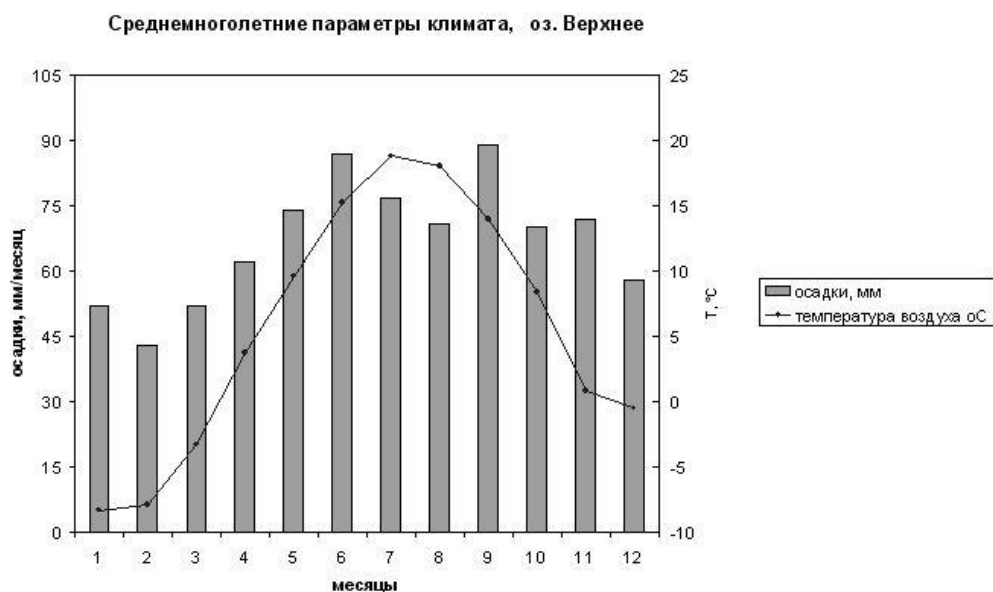
Более подробная экологическая характеристика каждого озера будет дана отдельно с учетом результатов применяемых восстановительных методов.

#### 4.1. ОЗЕРО ВЕРХНЕЕ

По площади оз. Верхнее (82367 км<sup>2</sup>) является вторым в мире после Каспийского моря и самым крупным среди пресноводных озер, а по объему водной массы четвертым после Каспийского моря, Байкала и Танганьики. Оно находится на территории США (Штаты Мичиган, Висконсин, Миннесота) и Канады (Провинция Онтарио). Координаты озера – 46° 25' - 48° 40' с.ш., 84° 30' - 92° 05' з.д.. В системе Великих американских озер это самое большое, самое глубокое и холодноводное озеро и выделяется необыкновенно живописными берегами. Северное побережье представляет собой обрывистые скалы, иногда сглаженные каменными

уступами, покрытые лишайниками и сосновыми лесами. Местами видны длинные и глубокие параллельные борозды, сделанные движущимся ледником. В западной и частично южной части озера берег понижается, хотя иногда встречаются крутые обрывы. На большом протяжении вдоль южной береговой линии озерное побережье и дно мелководий сложены мягкими красными глинами, которые подвергаются волновой эрозии, что вызывает высокую мутность у побережья. В настоящее время на американском и канадском побережье создан ряд национальных парков и заповедников, которые позволяют сохранить красоту ландшафтов. Самый большой остров озера Ройал стал Национальным парком США, также как и Апостольские острова, где сохраняются особенности геологической структуры территории (Data Book...1988). Сравнительно небольшая площадь водосбора, которая превышает площадь озера всего в 1.6 раза, и создание здесь национальных парков поддерживают экологическую безопасность озера (табл. 4.1).

Глубина всей котловина оз. Верхнего практически превышает 100м, причем на многих участках побережья стометровые глубины подходят к самому берегу. Несколько обширных впадин имеют глубины более 200 м. В западной части озера, ближе к северному берегу, они



**Рис. 4.4.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Marquette.

достигают максимальных глубин 250-260 м и ориентированы с северо-востока на юго-запад. Максимальная глубина озера 405 м расположена в его восточной части, ближе к южному берегу в длинном узком желобе (рис. 4.3).

На канадском побережье практически нет крупных городов. В западной части озера находится двойной порт Дулут-Супериор, от которого начинается судоходный путь вниз по озерам. Путь в 1873 км от Дулут (Миннесота) до Кингстона (Онтарио) является самым длинным в мире внутриконтинентальным водным транспортным сообщением. Сток из озера Верхнее осуществляется по короткой (112 км) порожистой реке Сент-Мерис, в настоящее время полностью шлюзованной, в оз. Гурон.

Озеро Верхнее является самым холодным из всех Великих американских озер, что явилось следствием климатических особенностей района (рис. 4.4) и огромных водных масс озера. Температура воды в середине лета не поднимается выше 6-7° С и только у самых берегов она может достигать 16-17° С. В середине сентября в открытой части озера температура воды на поверхности бывает максимальной – 10 – 16 °С. Зимой озеро полностью не замерзает, а прибрежная зона покрыта льдом с начала декабря до конца апреля. Озеро является димиктическим, как и другие озера системы.

Прозрачность воды озера высокая и даже в прибрежной зоне она достигает 15 м по диску

Секки, хотя в отдельных немногочисленных районах побережья она составляет всего 0.5 м, что связано со взмучиванием донных отложений при сильном волнении и поступлением бытовых и промышленных стоков (средняя прозрачность озера 8.5 м). Высокая прозрачность связана со слабой мутностью воды, взвешенные частицы обнаружены лишь в районе портов.

Высокое качество воды определяется многими показателями. Почти вся водная толща насыщена кислородом, даже в придонных водах наиболее глубоких зон насыщение воды кислородом составляло 99-105 %. Величины рН поверхностных вод близки к нейтральным и равномерно распределяются по всей акватории озера – 7.5-7.8. Общая минерализация воды составляет 60 мг/л, а щелочность – 40 мг/л (Beeton, 1965). Для озера характерны низкие концентрации биогенных элементов. Так, концентрация общего фосфора по акватории озера на протяжении многих лет остается на уровне 3-5 мкг/л, она не подвержена существенному сезонному изменению (Chandler, 1964, Matheson, Munawar, 1978, Data Book..., 1988). Только в районе портов на западе озера концентрация фосфора возрастает до 7-10 мкг/л. В западной части озера в 1973 г. исследовалось вертикальное распределение концентрации общего фосфора: на поверхности она составляла 7.1 мкг/л, а на глубине 25 м – 7.8 мкг/л, то-есть разница была незначительной (Watson et al., 1975).

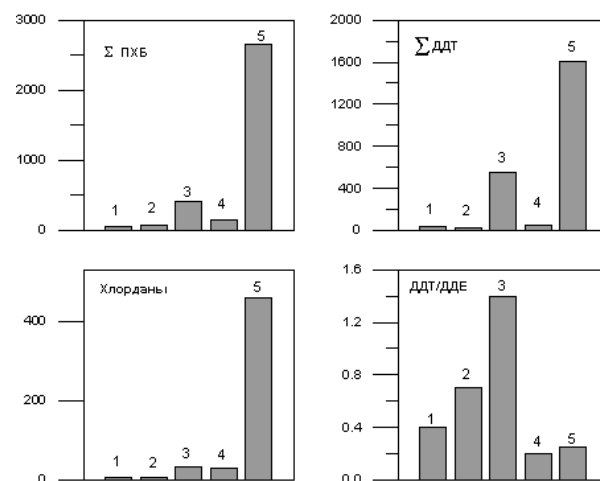


Гидрохимические и гидробиологические показатели характеризуют озеро как ультраолиготрофное. Это озеро можно рассматривать как эталон чистой воды, особенно в сравнении с другими озерами рассматриваемой системы, более подверженными антропогенному воздействию. Трофический уровень озера в первую очередь определяется состоянием фитопланктона, его видовым разнообразием, количественными показателями и пространственным распределением. Численность видов фитопланктона различается у разных авторов от 285 (Munawar, Munawar, 1986) до 160 (Barbiero, Tuchman, 2001a), что, скорее всего, связано с использованием разных методов определения. Последние данные показали, что диатомовые водоросли и весной, и летом составляют 38% видового состава, причем в последние годы в летний период по биомассе доминируют виды *Cyclotella* (*C. compta*, *C. comensis*, *C. delicatula*). Летом наряду с диатомовыми высоким видовым составом (38 %) обладают хризофитовые, а весной криптофитовые (25%), среди которых по численности доминируют нанопланктонные и пикопланктонные виды. Содоминантами диатомовых по численности являются некоторые виды *Dinobryon* и *Cryptomonas*. Отмечалось, что за последние двадцать лет доминирующие виды водорослей практически не изменились, что нельзя сказать о количественных показателях фитопланктона. Так, общая биомасса фитопланктона в 1973 г весной и летом соответственно составляла 145 и 233 мг/м<sup>3</sup>, а через десять лет эти величины были равны 145 и 319 мг/м<sup>3</sup> (Munawar et al., 1987). По данным 1998 г. общая биомасса фитопланктона весной и летом составила 70 и 180 мг/м<sup>3</sup> (Barbiero, Tuchman, 2001a).

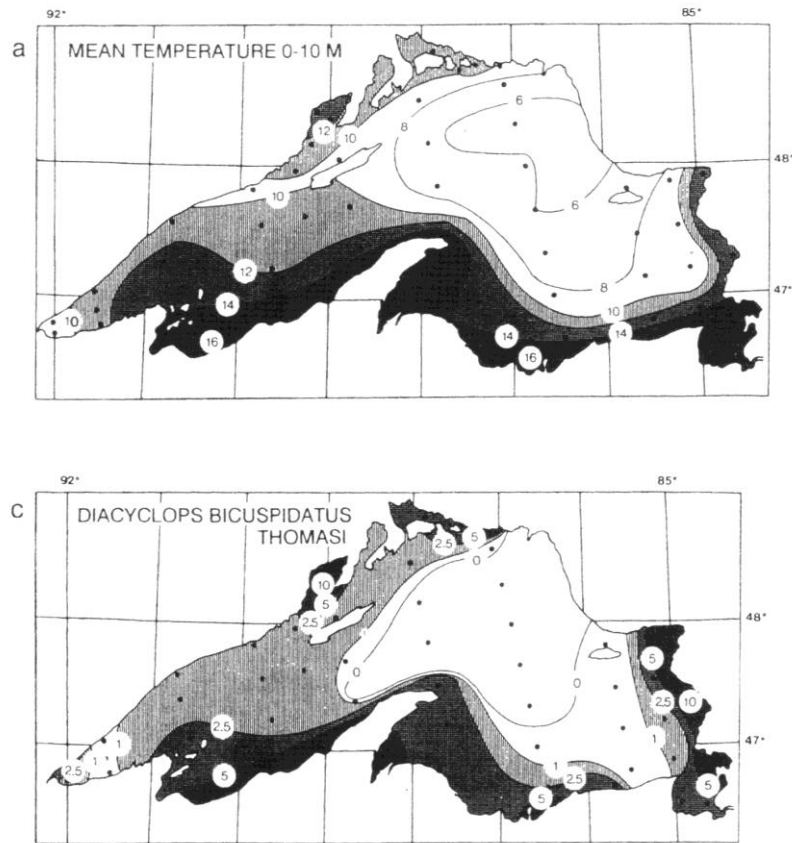
Содержание хлорофилла «а» в воде озера также соответствовало уровню олиготрофных водоемов. По данным 1970-1971 гг. содержание хлорофилла составляло 1-2.5 мг/м<sup>3</sup> и довольно равномерно распределялось по акватории озера. Изучение вертикального распределения хлорофилла «а» в 1973 г. выявило характерную особенность озера – практически на всех станциях максимальное содержание хлорофилла наблюдалось на некоторой глубине. Так, на поверхности озера эти величины составляли 0.7-1.4 мг/м<sup>3</sup>, максимальные же величины отмечались на глубине 25-30 м в зависимости от станций и составляли 3.2 мг/м<sup>3</sup>. Практически также распределялись значения продукции фитопланктона: на поверхности 2.1-2.6 мг С/м<sup>3</sup>

час, а на глубине 22-25 м -3.3-4.4 мг С/м<sup>3</sup> час (Watson et al., 1975). Аналогичные результаты получены при более поздних работах (Barbiero, Tuchman, 2001 b).

Сообщество зоопланктона озера по видовому составу и численности заметно различалось весной и летом. По данным 1998 г., весной оно характеризовалось низким видовым составом и численностью: из взрослых форм доминировали в основном копеподы (*Limnodiaptomus sicilis*, *Limnocalanus macrurus*) и циклопы (*Diacyclops thomasi*) при общем количестве видов 9, численность зоопланктона не превышала 642 экз./м<sup>3</sup>. В летний период эти показатели значительно возрастали. Общее количество видов составило 16, из которых доминировали, кроме указанных копепод и циклопов, кладоцеры (*Daphnia galeata mendotae*, *Holopedium gibberum*). Численность летнего зоопланктона (в среднем в столбе воды) составляла 3.5 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Barbiero et al., 2001). Как правило, зоопланктон неравномерно распределялся по акватории озера и в значительной степени повторял термическую структуру озера, как видно на примере распределения *D. thomasi* (Рис. 4.5). Среднегодовая биомасса зоопланктона в слое 0-50 м составляла 0.17 мг/л, а численность – 10 экз./л. (Patalas, 1990).



**Рис. 4.5.** Хлорорганические соединения в рыбах Байкала и Великих озер Северной Америки. Концентрации в микрограммах на килограмм сырого веса. 1 - байкальский омуль. 2 - малая голомянка, Байкал. 3 - большая голомянка, Байкал. 4 - форель из озера Верхнее, 1994. 5 - форель из озера Мичиган, 1990. Источник: Kucklick et al. 1996.



**Рис. 4.6.** Распределение температуры (А) и *Diacyclops bicuspidatus thomasi* (В) в оз. Верхнее в августе 1968 г. Источник: Patalas, 1990.

Что касается сообщества донных организмов, то оно также представлено видами, характерными для олиготрофных, глубоководных и холодных озер. Это, прежде всего, реликтовые бокоплав *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Mysis relicta*, причем понтопорей может достигать 65-80 % всего бентосного сообщества (Chandler, 1964). Кроме того, здесь широко представлены олигохеты и в первую очередь *Limnodrilus sp.*, а также *Tubifex sp.* и *Stylodrilus sp.* Из моллюсков здесь в основном представлен *Pisidium sp.*

Озеро Верхнее всегда было лососевым озером. Начиная с 1867 г. был отмечен рекордный вылов таких видов как лосось, форель, паляя, сиг, ряпушка, судак. Чрезмерный вылов подорвал численность рыбного стада, особенно ценных и наиболее уязвимых пород. При этом снизился не только объем вылавливаемой рыбы, но и ее промысловая ценность, возросла доля таких видов как окунь, корюшка, карп, озерная сельдь. Несомненно, озеро по составу рыбного населения раньше отличалось от других озер системы, однако проведенный ряд мероприятий

по выращивание рыб, их интродукции, а также миграция самих рыб несколько уменьшили различие среди Великих американских озер. Большой ущерб рыбному населению нанес вселенец – морская минога, которая подорвала сиговый и форелевый промысел, но успешная борьба с ней улучшила ситуацию. Начиная с 1962 г., были выпущены в озеро миллионы мальков лососевых и сиговых рыб, и рыбный промысел начал медленно восстанавливаться. В оз. Верхнем начал вновь вылавливаться лосось *Oncorhynchus gorbuscha* (Beeton, Chandler, 1963). В 1977 г. коммерческий вылов рыбы в озере составил 4.2 тыс. тонны.

Эксперты полагают, что озеро Верхнее находится в самом удовлетворительном состоянии из всех пяти Великих американских озер. Это в первую очередь касается уровня эвтрофирования озера. Что же касается загрязнения озера, то здесь не все так однозначно. Исследования таких устойчивых токсических веществ как ДДТ, полихлорбифенилы, ртуть и др. показали, что они поступают в озерную экосистему

в результате атмосферного переноса, с муниципальными сточными водами, со сбросами водного транспорта, от горнодобывающей промышленности, с рассеянных источников на водосборе. Наибольшее их количество, до 20 – 25 %, поступает с атмосферными осадками. Токсические вещества практически не обнаруживаются в водной толще, но они аккумулируются в тканях рыб и донных отложениях. Особенно критическая ситуация складывалась в 1970-х годах, когда в мышцах форели обнаружили до 7 - 25 мг/кг полихлорбифенилов, до 6 - 16 мг/кг ДДТ и 9 мг/кг ртути. По стандартам США эти величины не должны превышать соответственно 2, 5 и 1 мг/кг. К 1980-м годам эти концентрации уже не превышали стандарты за счет принятых мер по снижению содержания токсических веществ как в выбросах, так и в сточных водах (Data Dook...1988). В настоящее время, как видно на рис. 4.6, концентрация хлорорганических соединений в рыбе оз. Верхнее находится приблизительно на том же уровне, что и в рыбах практически чистого озера Байкал (цит. по Грачев, 2002). Однако накопление токсических веществ выявляется в донных отложениях некоторых районов озера.

Водообмен озера очень низкий и составляет 191 год, что всегда учитывается при рассмотрении проектов охраны этого озера. При таком низком водообмене аккумуляция загрязняющих веществ, даже при небольших количествах их поступления, может достигать значительного уровня, а восстановление озера растягиваться на длительное время.

## 4.2. ОЗЕРО ГУРОН

По площади оз. Гурон занимает четвертое место в мире после Каспийского моря, озера Верхнее и Виктория, а по объему водной массы - восьмое после Каспийского моря, озера Байкал, Танганьика, Верхнее, Ньяса, Восток, Мичиган. Оно расположено на территории США (штат Мичиган) и Канады (провинция Онтарио) (рис. 4.1, 4.7). Координаты – 43° 00' – 46° 21' с.ш., 79° 50' – 84° 45' з.д.

Северная часть оз. Гурон образует обширный залив Джорджиан-Бей, который отделен от основной акватории озера островом Манитулин. Этот остров является самым большим островом в мире, расположенном в пресноводном водоеме. Его длина достигает 160 км,

ширина – 80 км. Северный берег залива Джорджиан-Бей сложен, как и берег оз. Верхнего, гранитными породами древнего кристаллического щита и представлен нагромождением скал, каменистых откосов, обрывов, которые чередуются с небольшими озерами и речками. В северной части озера общее количество островов, включая отдельно стоящие скалы, приближается к 50 тысячам. Южнее залива берег озера представляет собой сплошные песчаные пляжи, местами пересеченные дюнами.

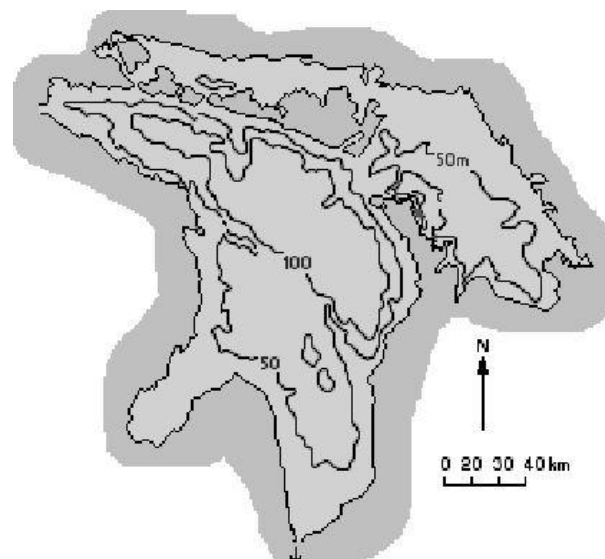
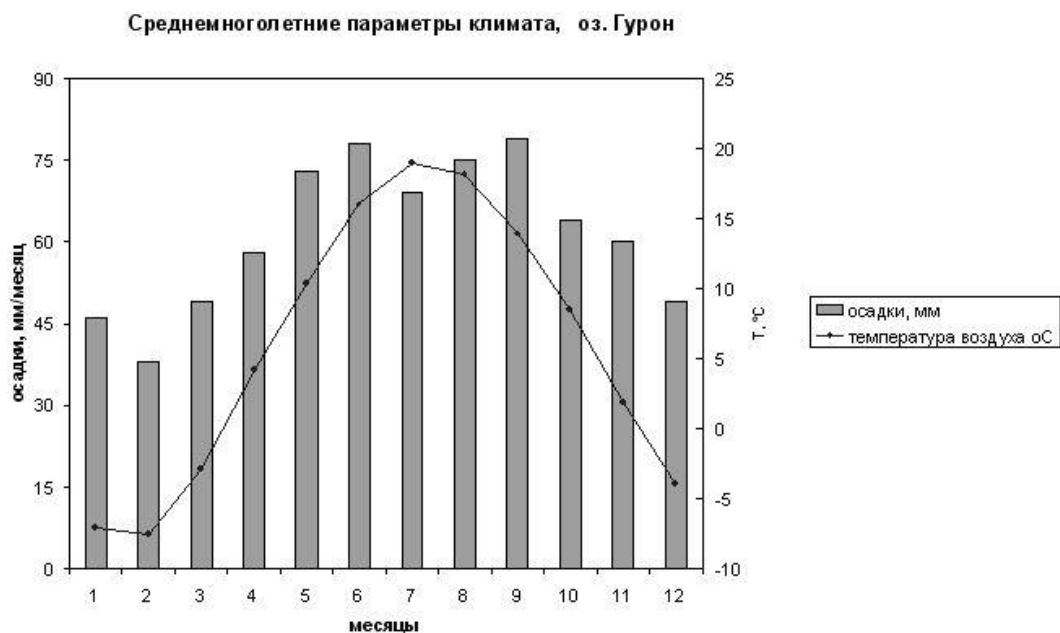


Рис. 4.7. Озеро Гурон. Источник ИЛЕС, 1988.

Оз. Гурон соединяется с оз. Мичиган коротким и широким проливом Мэкинак. Поскольку оба озера находятся на одной высоте над уровнем моря, нередко их рассматривают как единое озеро, хотя это не совсем верно из-за значительных различий по физико-химическим и экологическим характеристикам. Сток из озера осуществляется через реку Ст. Клэр, оз. Ст. Клэр и реку Детройт в оз.Эри (Beeton, Chandler, 1963).

Глубины в озере распределены неравномерно. Южная часть имеет пологое дно, плавно понижающееся к северу от глубин 20-25 до 70-80 м. Глубоководная впадина захватывает почти всю северную часть озера, примыкающую к острову Манитулин. Глубины здесь более 100 м, есть несколько впадин с глубинами до 200 м, в одной из которых расположена максимальная глубина 228 м. В заливе Джорджиан-Бей глубины колеблются в пределах 30-70 м (рис.4.7).

Климат бассейна оз. Гурон (рис. 4.8) несколько



**Рис. 4.8.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Alpena.

мягче, чем оз. Верхнего. В летний период температура воды озера значительно выше, чем в оз. Верхнем. Так, в июле температура на поверхности воды колеблется от 11.9°С в центре озера до 22° в прибрежных районах (средняя 18.8°С). Глубина термоклина изменяется от 13 м в южной части озера до 5 м в глубоководной. Зимой, как и в большинстве других озер рассматриваемой системы, озеро полностью не замерзает, хотя в отдельные годы это случается. Несмотря на частичное замерзание, продолжительность ледостава значительная. Так, в 1976-1977 гг. было отмечено полное замерзание озера, но оно продержалось недолго, тем не менее в течение 145 дней водоем был покрыт льдом на 75 % (Moll et al...1985).

Водосбор озера, который превышает площадь озера в 2.1 раза, довольно слабо заселен, здесь нет крупных промышленных центров, не ведутся разработки полезных ископаемых. Однако в последние годы здесь интенсивно развивается рекреация: в летний период здесь скапливается большое количество яхт, лодок, прогулочных кораблей.

По гидрохимическим и гидробиологическим показателям озеро до сих пор остается на уровне олиготрофного озера с хорошим качеством воды. По многим компонентам озеро на протяжении многих лет сохраняет сравнительную стабильность. Его общая минерализация практически не изменилась с момента на-

чала исследований в 1910 г. и остается на уровне 100-110 мг/л, при этом надо отметить, что за период 1956-1980 гг увеличилась концентрация сульфатов с 12.7 до 15.1 мг/л, но за тот же период уменьшилась концентрация хлоридов с 6.5-7.8 до 5.1 мг/л. Прозрачность воды в озере оставалась высокой и в летний период составляла в центре до 17.6 м, а в прибрежных районах до 1.5-2.5 м по диску Секки (среднее 9.1 м) (Moll et al., 1985). Озерные водные массы были хорошо насыщены кислородом, в придонной воде насыщение составляло 95-100 % (11.9 – 13.2 мг/л ). Величины рН в эпилимнионе озера составляли 7.99-8.33, в гиполимнионе -7.87 – 8.2, то есть отражали щелочной характер воды озера.

Содержание биогенных элементов в оз. Гурон выше, чем в оз. Верхнее, но остается на уровне олиготрофного озера. В среднем за вегетационных период концентрация фосфора изменялась от максимальных величин в 1972-1973 гг 9.6 мкг/л до 5.2 мкг/л в 1980 г. По акватории озера биогенные элементы распределяются сравнительно равномерно: общий фосфор – от 4 до 6 мкг/л , а общий азот – от 150 до 250 мкг/л . С глубиной фосфор почти не изменяется, и летом его концентрация в гиполимнионе составляет 4.2-7.4 мкг/л ( среднее 5.8 мкг/л ) (Moll et al.,1985).

Биологические показатели также характеризуют олиготрофный характер озера, это в пер-

вую очередь касается фитопланктона. По данным 1998 г. весной в оз. Гурон, как и в оз. Верхнее, идентифицировано почти 160 видов водорослей, из них около 80 видов диатомовых и 40 – хризофитовых. По биомассе доминировала диатомовая *Aulacoseira islandica* (0.15 г/м<sup>3</sup>), которая значительно опережала своих содоминантов из диатомовых *A.subarctica*, *Tabellaria flocculosa*, из криптофитовых *Rhodomonas minuta* и из синезеленых *Oscillatoria tenuis*, биомасса этих видов составляла 0.02-0.035 г/м<sup>3</sup>. Летом число видов было немногим более 120, при этом диатомовые составляли лишь 40%, а хризофитовые - почти 50% видового состава. По биомассе доминировали хризофитовые *Chryso-sphaerella longispina* (0.07г/м<sup>3</sup>). Содоминантами были из диатомовых *Cyclotella comta*, *Fragilaria crotonensis*, из хризофитовых *Dinobryon bavaricum*, *Haptophyceae* spp, из криптофитовых *Cryptomonas erosa*, их биомасса не превышала 0.006-0.015 г/м<sup>3</sup>. Общая биомасса фитопланктона весной составляла 0.35 г/м<sup>3</sup>, а летом - 0.20 г/м<sup>3</sup> (Barbiero, Tuchman, 2001). Другими авторами в 1970-х годах отмечались более высокие показатели биомассы фитопланктона: в северной части она была менее 1.0 г/м<sup>3</sup>, но на южном мелководье она достигала 1.6-8.2 г/м<sup>3</sup> и выше (Pollinger,1990). Средняя за вегетационный период биомасса фитопланктона в 1980-х годах составляла около 0.6 г/м<sup>3</sup> (Munawar et al., 1987).

Величины хлорофилла «а» в значительной степени повторяют показатели биомассы фитопланктона в течение последних тридцати лет XX века: в 1970-х годах хлорофилл в летний период изменялся в пределах 0.1-16.3 мг/м<sup>3</sup>, в 1980 г. - весной он составлял 1.5-3.5, а летом - 0.5-2.5мг/м<sup>3</sup>, а в 1998 г. эти величины были еще ниже, весной около 0.5, а летом 0.3 мг/м<sup>3</sup>. Таким образом, к началу XXI века количественные показатели фитопланктона уменьшились (Moll et al., 1985, Barbiero, Tuchman, 2001).

Как и в других Великих американских озерах, видовое разнообразие и численность зоопланктона были выше в летний период по сравнению с весной. Так, число видов составляло, соответственно, 17 и 11, а общая численность (в среднем в столбе воды) – 12 и 4 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Хотя численность зоопланктона в оз. Гурон была выше, чем в оз. Верхнем, видовой состав в этих озерах совпадал. Из взрослых особей весной доминировали копеподы как по чис-

ленности, так и по биомассе *Leptodiptomus ashlandi*, *L. sicilis*, *L. minutus* и циклопы *Diacyclops thomasi*. Летом, кроме копепод и циклопов, доминировали кладоцеры *Daphnia galeata mendotae*, *Bosmina longirostris* (Barbiero et al., 2001). Общая биомасса зоопланктона летом в слое 0-50 м составляла 0.68 мг/л, а численность – 48 экз./л (Patalas, 1990).

Донные организмы в глубоководной части озера практически были те же, что и в оз. Верхнее. Преобладали реликтовые бокоплавы *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Mysis relict*, кроме того здесь были широко представлены олигохеты и в первую очередь *Limnodrilus* sp., а также *Tubifex* sp., *Stylodrilus* sp. и из моллюсков *Pisidium* sp. В мелководных районах присутствовали и другие виды, в основном личинки насекомых групп Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera. Количество бентосных организмов на глубоководных станциях превышало 10 тыс. на 1 м<sup>2</sup> и, как правило, было выше, чем на мелководных (Chandler, 1964).

Как и оз. Верхнее, оз. Гурон всегда было лососевым. Однако за последние десятилетия здесь произошли значительные изменения. После внедрения миноги в Великие американские озера резко уменьшилась численность озерных рыбных популяций, особенно форели. Это в свою очередь создало благоприятные условия для развития особой мелкой американской сельди *Alosa pseudoharengus*, которая сократила популяции окуня, сига и озерной сельди. Интродукция лососевых в озеро в 1964 г., которые использовали *A. pseudoharengus* в качестве источника питания, привела к постепенному восстановлению истинно озерного рыбного хозяйства. В 1977 г. коммерческий годовой вылов рыбы составил почти 3 тыс тонн.

Озеро Гурон остается олиготрофным, и практически по всем химическим и биологическим параметрам здесь не наблюдается сколь угодно значимых процессов эвтрофирования. Загрязнение озера хлороорганическими веществами и тяжелыми металлами изучалось в 1979-1983 гг. Практически они отсутствовали в водной толще, но были обнаружены в тканях рыб и донных отложениях. В тканях форели концентрация ДДТ колебалась в пределах 0.2-1.1 мг/кг сырого веса, а полихлорбифенилов – в пределах 0.4 – 2.3 мкг/г сырого веса, и эти концентрации не превышали принятые в США стандарты. Международная Объединенная ко-

миссия выделила в озере отдельные локальные районы загрязнения, где в настоящее время ведутся работы по их восстановлению (Data Book..., 1988).

### 4.3. ОЗЕРО МИЧИГАН

Озеро Мичиган является третьим по величине в системе Великих американских озер и единственным полностью расположенным в США (штаты Мичиган, Индиана, Иллинойс и Висконсин) (рис. 4.1, 4.9). Координаты –  $41^{\circ} 40' - 46^{\circ} 08'$  с.ш.,  $84^{\circ} 44' - 87^{\circ} 44'$  з.д. С середины прошлого века началась интенсивная индустриализация южного побережья озера, резко возросла численность населения. В настоящее время эта территория является наиболее промышленно развитым районом США. Здесь расположен ряд промышленных и транспортных центров. Среди них третий по численности город США Чикаго (население около 3 млн. чел.), крупнейший промышленный и финансовый центр страны. На берегу оз. Мичиган расположен крупный порт Милуоки (население 560 тыс. чел.).

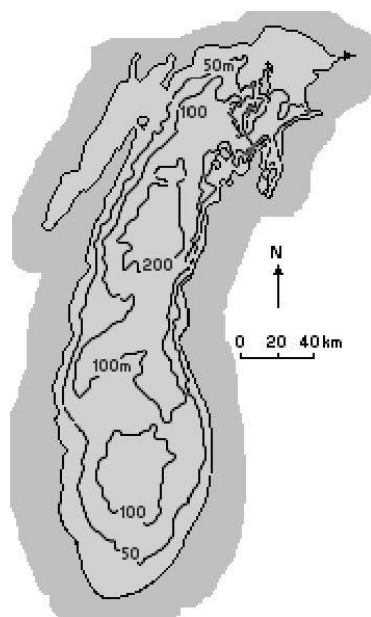


Рис. 4.9. Озеро Мичиган. Источник ИЛЕС, 1988.

Водосбор озера превышает площадь озера в 2 раза, что является особенностью всех Великих американских озер. Такой же особенностью являются высокие значения рН воды: на поверхности - до 8.7 и выше, в придонных слоях - около 8.1.

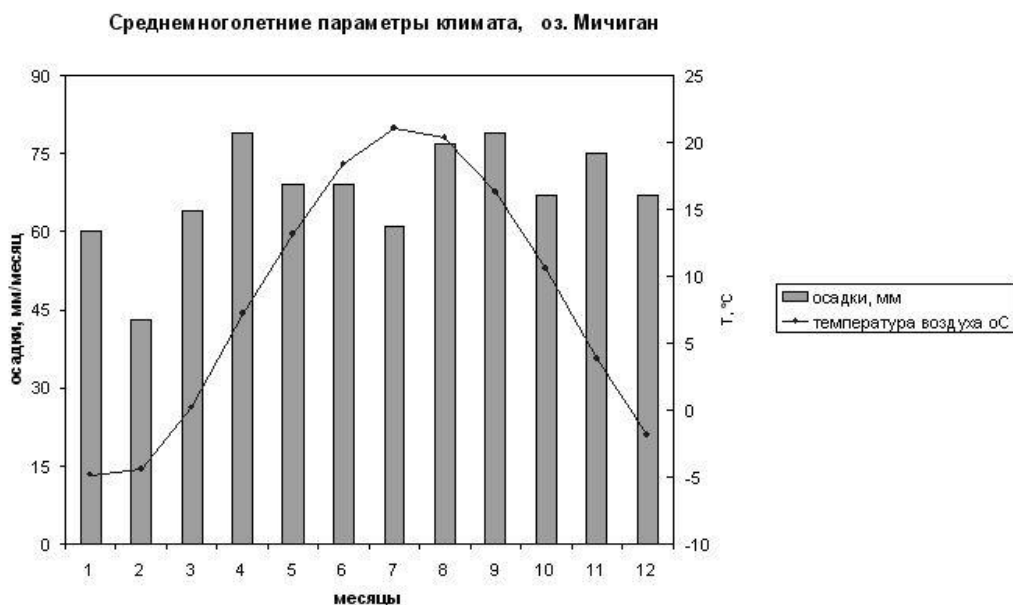
Прибрежная территория озера является частью дна древнего ледникового озера, предшественника Мичигана. Это почти идеальная равнина, поднятая на 6-8 м над уровнем современного озера и несущая на себе древние береговые гряды песчаных дюн, расположенные параллельно береговой линии. Исключением является полуостров До, отделяющий от основной акватории озера залив Грин-Бей. Скалистые обрывистые берега полуострова напоминают северные берега оз. Верхнее. Полуостров До сложен твердыми доломитами, одними из древнейших на Земле. Ледник при своем движении выпал долины озера Мичиган и залива Грин-Бей, но доломитовый участок устоял перед его напором. Когда-то уровень озера был выше и сток из него осуществлялся на юг, в бассейн реки Миссисипи, сейчас между ними существует невысокий водораздел. Современный сток из озер Гурон-Мичиган идет в оз. Эри (табл. 4.1).

Дно озера представляет собой чередование пологих поднятий и углублений. В южной части глубины около 50-60 м, затем дно довольно быстро понижается, достигая в центральной части максимальной глубины 280 м (рис. 4.9).

Климатические показатели района озера более благоприятны, чем оз. Гурон: среднегодовая температура воздуха за период 1943-1980 гг составляла в оз. Мичиган  $8.3^{\circ}\text{C}$  (рис. 4.10) против  $5.9^{\circ}\text{C}$  в оз. Гурон за тот же период. Среднемесячная максимальная температура воды оз Мичиган в июле-августе достигала  $16-21^{\circ}\text{C}$ . Также как в других озерах рассматриваемой системы, полного ледового покрова на озере не образуется. Озеро димиктическое, летняя стратификация температуры начинается довольно рано, в начале июня, и термоклин формируется на глубине 4-6 м.

В отличие от озер Верхнее и Гурон, в оз. Мичиган за последние десятилетия заметно изменились некоторые характеристики качества воды, что связано со значительным антропогенным воздействием. С начала прошлого века минерализация воды возросла со 130 до 150 мг/л к 1960 г., при этом почти в три раза увеличилась концентрация сульфатов (Beeton, 1965). Распределение показателей гидрохимического и гидробиологического режима по акватории озера существенно различается, при этом четко выделяются южный и северный





**Рис. 4.10.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Muskegon.

районы, а также центральная и прибрежные зоны. В северном районе прозрачность воды в течение вегетационного периода колебалась в пределах 6 – 11.5 м по диску Секки, а в южном – 2-7.5 м. Исследования 1970-1971 гг содержания общего фосфора по профилю от г. Милуоки до западного побережья озера показали, что оно в районе города в отдельные месяцы (июнь, ноябрь) достигало 20 – 38 мкг/л, на западном побережье – не превышало 15 мкг/л, а в центральной части составляло 2-10 мкг/л. Аналогично распределялась концентрация кремния: около г. Милуоки она достигала 1.5-1.7 мг/л, в центральной части - 0.25-0.6 мг/л. (Holland, Beeton, 1972). Концентрация фосфора в центральной части озера соответствует уровню олиготрофного водоема, такой характер озера подтверждает довольно высокое насыщение кислородом водных масс, включая придонные слои, где насыщение редко бывает менее 70% (8-10 мг/л). Однако прибрежные районы, особенно на южных районах озера, и заливы уже меняют свой трофический статус на эвтрофный и мезотрофный. В заливе Грин-Бей по профилю с юга на север концентрация общего фосфора меняется от 190 мкг/л до 27 мкг/л (Richman et al., 1984).

Серьезные изменения произошли в озере в сообществе фитопланктона, который изучался довольно полно на протяжении длительного времени. Еще в начале 1960-х годов диатомовые доминировали по всему озеру, составляя

до 80 % общей биомассы, и были представлены *Synedra*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Asterionella*, а содоминантом были хризифитовые *Dinobryon*. В 1970-х годах, когда возросла концентрация биогенных элементов и в первую очередь фосфора, заметно уменьшилось содержание кремния в водной толще. Это было вызвано массовым развитием диатомовых водорослей за счет увеличения биогенной нагрузки и интенсивным потреблением кремния, который вместе со створками диатомей аккумулировался в донных отложениях. Вслед за уменьшением содержания кремния, снизилась значимость диатомовых водорослей в озере, доминирующими видами стали синезеленые, зеленые и криптофитовые, которые в равных количествах составили почти 75% общей биомассы. Основной вклад в биомассу внесли синезеленые *Anacystis iuncerta* и *Gomphosphaeria aponina*. В 1981 г. синезеленых было в два раза больше, чем в 1974 г. (Chang, Rossmann, 1988). В июле-августе 1985 г. синезеленые составляли 15%, а фитофлагеллаты – 76% общей биомассы фитопланктона (Fahnenstiel, Scavia, 1987). В настоящее время концентрация кремния несколько повысилась в среднем по основной оси озера до 0.7 весной и 0.25 мг/л летом (Barbiero, Tuchman, 2001). Исследованиями 1998 г. было выявлено около 120 видов, причем весной и летом общее количество видов не менялось. В летний период доминантами оставались фитофлагеллаты: из криптофитовых *Cryptomonas erosa*,

*Rhodomonas minuta*, из хризофитовых *Dinobryon divergens*, *Chryso-sphaerella* spp. Весной диатомовые водоросли занимают доминирующее положение в общей биомассе фитопланктона и представлены *Aulacoseira islandica*, *A. subarctica*, *Stephanodiscus alpinus*, *S. subtransylvanicus* (Barbiero, Tuchman, 2001).

Количественные показатели фитопланктона различаются у разных авторов и трудно оценить их межгодовую изменчивость. Численности клеток водорослей определялась с 1920-1940 гг в районах городов Чикаго и Милуоки. Было показано, что уже в начале исследований численность клеток водорослей в районе Чикаго почти в два раза превышала их концентрацию около г. Милуоки, соответственно составляя 1000 и 500 клеток в мл, в период максимального развития фитопланктона в 1960-х годах эти величины соответственно составляли 3500 и 1000 клеток в 1 мл, а в 1970-х годах вернулись к первоначальным величинам – 1000 и 400 (Brooks et al., 1984). Биомасса фитопланктона в 1971 г. как и в оз. Гурон, в среднем составляла весной  $1.4 \text{ г/м}^3$ , а летом –  $0.4 \text{ г/м}^3$ . в 1998 г. эти величины соответственно составляли 0.3 и  $0.18 \text{ г/м}^3$  (Barbiero, Tuchman, 2001).

Концентрация хлорофилла «а» также характеризует центральную часть озера как низкопродуктивную, в 1980 г весной и летом она составляла в центральной части озера  $3 \text{ мг/м}^3$ , а в прибрежных районах –  $5-7 \text{ мг/м}^3$  (Data Book, 1988). В заливе Грин-Бей, подверженном значительному антропогенному воздействию, в этот период на юге содержание хлорофилла достигало  $49.7 \text{ мг/м}^3$ , а далее к северу оно уменьшалось от  $8.4$  до  $2.1 \text{ мг/м}^3$  (Richman et al., 1984). В середине 1980-х годов исследовалось вертикальное распределение хлорофилла «а» в открытой части озера: на поверхности его содержание составляло  $0.1 - 1.0 \text{ мг/м}^3$ , а на глубине 20-40 м – до  $6-7 \text{ мг/м}^3$  (Fahnenstiel, Scavia, 1987). В более поздних работах приводятся довольно низкие данные по хлорофиллу на поверхности центрального района -  $0.4-0.6 \text{ мг/м}^3$  (Barbiero, Tuchman, 2001).

В настоящее время сообщество зоопланктона оз. Мичиган, как по видовому составу, так и по численности, аналогично зоопланктону оз. Гурон. Летом количество видов выше, чем весной – соответственно 16 и 8 (в оз. Гурон 17 и 11). Весной доминируют копеподы *Leptodiptomus ashlandi*, *L. sicilis*, *L. minutus* и их

молодь составляет основную численность зоопланктона. Из общей численности зоопланктона, составляющей около 3 тыс экз. в  $1 \text{ м}^3$ , указанные виды и их молодь составляют 93 %. Летом существенные изменения произошли в видовом составе озера в связи с массовым развитием кладоцер - *Daphnia galeata mendotae*, *Bosmina longirostris*, хотя копеподы продолжают доминировать. Из циклопов в массовом количестве развивается *Diacyclops thomasi*, а также молодь циклопоидов. До 1982 г., когда в озере было достаточно планктоноядной американской сельди, в озере доминировали копеподы *L. ashlandi* и *L. minutus*, а также небольшая по размерам кладоцера *D. retrocurva* и их молодь. После 1982 г., когда серьезно пострадало рыбное население и в том числе американская сельдь, изменился видовой состав зоопланктона. Появилась очень крупная *Daphnia pulicaria*, а также доминировали *D. galeata mendotae* и *D. retrocurva*. Только после вселения в озеро хищной кладоцеры *Bythotrephes* видовой состав восстановился и продолжает оставаться стабильным до настоящего времени. Общая численность ракообразных летом составляет  $6.8 \text{ тыс. экз./м}^3$ , что в два раза больше, чем в оз. Верхнее, и в два раза меньше, чем в оз. Гурон (Barbiero et al., 2001).

Поскольку появление новых видов-вселенцев вызывает повышенный интерес из-за нарушения ими сформировавшейся в озере структуры трофических связей, нельзя не остановиться на обнаруженной в 1999 г. хищной кладоцере *Cercopagis pengoi*, которая имеет понто-каспийское происхождение. Первоначально она была обнаружена в оз. Онтарио, но в сентябре 1999 г при температуре  $16^\circ\text{C}$  в оз. Мичиган ее количество достигало  $75 \text{ экз./м}^3$ , причем ее можно было обнаружить почти во всех пробах. Хотя *C. pengoi* была обнаружена в желудках рыб, все еще остается не доказанной ее роль как источника питания рыб и ее влияние на другие организмы трофической сети озера (Charlebois et al., 2001).

Донные организмы озера были практически те же, что и в озерах Верхнее и Гурон. Преобладали реликтовые бокоплавы *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Mysis relicta*, из олигохет *Limnodrilus* sp., *Tubifex* sp., *Stylodrilus* sp, из моллюсков *Pisidium* sp. Донные организмы, образуя довольно стабильные сообщества, являются хорошим показателем окружающей среды. Оз. Мичиган подвержено зна-

чительному антропогенному воздействию, поэтому изменению численности донных организмов в озере уделялось значительное внимание. Было проведено сравнение численности наиболее распространенных видов монопоarei и олигохет за период от 1960-1964 гг до 1980-1981гг (табл. 4.2) (Nalera, 1987).

**Таблица 4.2.** Численность донных организмов (тыс. экз./м<sup>2</sup>) и стандартное отклонение (в скобках) в 1960-х и 1980-х годах (по Nalera, 1987)

Глубина, м	Монопоarei		Олигохеты	
	1960, 1964	1980-1981	1960, 1964	1980-1981
18	1.1 (0.2)	2.9 (0.4)	0.1 (<0.1)	2.0 (0.2)
37	7.7 (0.6)	8.6 (0.5)	4.9 (0.2)	5.0 (0.4)
46	0.6 (0.1)	3.0 (0.4)	1.5 (0.2)	4.2 (0.3)
46	5.3 (0.4)	6.9 (0.7)	3.0 (0.2)	4.5 (0.2)
73	0.7 (0.1)	1.6 (0.2)	0.7 (0.1)	1.4 (0.1)
108	0.3 (0.1)	2.5 (0.5)	0.2 (<0.1)	0.6 (0.1)
129	0.2 (0.1)	1.3 (0.2)	0.1 (<0.1)	0.5 (0.1)

В 1980-х годах численность наиболее распространенных видов макрозообентоса возросла более чем в два раза по сравнению с 1960-ми годами. Скорее всего, это связано с увеличением поступления органического вещества в донные отложения озера. В 1970-х годах отмечалось резкое увеличение численности озерного фитопланктона, особенно весной, когда началось регулярное весеннее цветение воды, произошла смена видового состава водорослей – диатомовые уступили доминирование сине-зелеными. Хотя уже к концу 1970-х годов численность водорослей уменьшалась, донные организмы только через значительное время отреагировали на произошедшие изменения.

В 1999 г. было отмечено широкое распространение моллюска-вселенца *Dreissena polymorpha* по всей акватории озера. Впервые его створки были обнаружены в 1988 г. около порта Гару. В настоящее время его наибольшее количество отмечается на глубинах 9 – 82 м и биомасса достигает 0.6-15 кг на гектар. Дрейссена становится настоящим бичом

многих больших озер мира. Она влияет не только на структуру донных сообществ, но и на всю трофическую сеть. Кроме того, она доставляет много трудностей при придонном траловом вылове рыбы (Fleischer et al., 2001).

Рыбное население в оз. Мичиган претерпело практически те же изменения, что и в озерах Верхнее и Гурон. Если в XIX столетии основными промысловыми рыбами были форель, лосось, сиги, судак, озерная сельдь, то в 1967 г. 95 % коммерческого улова в оз. Мичиган составили корюшка, мелкая американская сельдь, окунь, карп. Много причин повлияло на изменение рыбного хозяйства: интенсивный вылов, массовое развитие нового вселенца – миноги, подорвавшей форелевый и сиговый промысел, антропогенное воздействие. Успешная борьба с миногой, внесение в озеро мальков лососевых и сиговых рыб способствовало постепенному восстановлению рыбного хозяйства озера. В 1980 г. коммерческий годовой вылов рыбы составил 11.4 тыс. тонн.

Высокий уровень промышленного и сельскохозяйственного развития сказался на загрязнении озера хлорорганическими веществами и тяжелыми металлами. В 1969-1973 в тканях форели аккумулировалось до 20 мг/кг сырого веса ДДТ, полихлорбифенилов – до 23 мг/кг, ртути – до 5.5 мг/кг. Все эти величины в десятки раз превышали стандарты, принятые в США (соответственно 5, 2 и 0.5 мг/кг сырого веса). В 1977 - 1985 гг. концентрация токсических веществ в тканях рыб уменьшилась до 1-2, 1-6 и 1-3 мг/кг, соответственно, тем не менее потребление рыбы по некоторым показателям оставалось опасным для человека (Data Book..., 1988). По данным 1990 г., содержание хлорорганических соединений в форели оз. Мичиган не выходило за пределы принятых стандартов, но тем не менее оно было значительно выше, чем в рыбе оз. Байкал и оз. Верхнее (рис. 4.6). Снижение поступления концентрации токсических веществ в озеро явилось серьезной экологической проблемой, которую решали на протяжении многих лет. В итоге были снижены нагрузки токсических и биогенных веществ от промышленных и муниципальных источников загрязнения. Значительное загрязнение озера при воздушном переносе токсикантов решается труднее.

#### 4.4. ОЗЕРО ЭРИ

Озеро Эри является четвертым по площади и самым мелководным из пяти Великих американских озер (табл. 4.1). Оно расположено на территории США (штаты Мичиган, Огайо, Пенсильвания, Нью-Йорк) и Канады (провинция Онтарио). Координаты:  $41^{\circ} 21' - 42^{\circ} 07'$  с.ш.,  $78^{\circ} 48' - 83^{\circ} 28'$  з.д.. Водосбор превышает площадь озера всего в 2.3 раза. Побережье озера представляет собой отложения древних приледниковых озер. Следы этих озер обнаруживаются в виде эрозионных береговых уступов, древних дельт и соединительных каналов. Повсеместно встречаются известковые илы, песчаные пляжи, а также вытянутые береговые песчаные косы. Лиственный лес побережий в своем первоначальном виде сохранился только на территории национальных парков и заповедников. Низкий западный берег озера местами сильно заболочен. На территории водосбора большинство болот было осушено при строительстве городов и устройстве крупных ферм. Национальный парк-заповедник Пойнт-Пеле расположен на северо-западном участке побережья и является одним из последних мест, где сохранились нетронутыми обширные болота.

Южный американский берег плотно заселен, и здесь расположены крупные промышленные комплексы, прежде всего это города Кливленд (478 тыс. жителей, а с пригородами 2.2 млн. чел.) и Буффало (290 тыс. жителей). При впадении р. Детройт в оз. Эри находится крупнейший центр автомобильной промышленности и транспортный узел город Детройт с населением 900 тыс. человек (с учетом пригородов 4.4 млн.). В настоящее время население города заметно сокращается. Северный канадский берег заселен меньше, но здесь интенсивно развито сельское хозяйство.

По морфометрии озеро четко делится на три части – западную, центральную и восточную. Западная часть мелководна с глубинами менее 15 м, в центральной части дно довольно ровное, с глубинами 25-30 м. Восточная часть – самая глубокая, дно равномерно понижается от берегов и в центре достигает максимальной глубины 64 м (рис. 4.3, 4.11). Сток из озера осуществляется по р. Ниагара в последнее из системы оз. Онтарио.

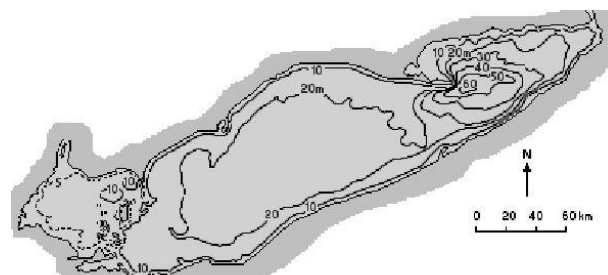
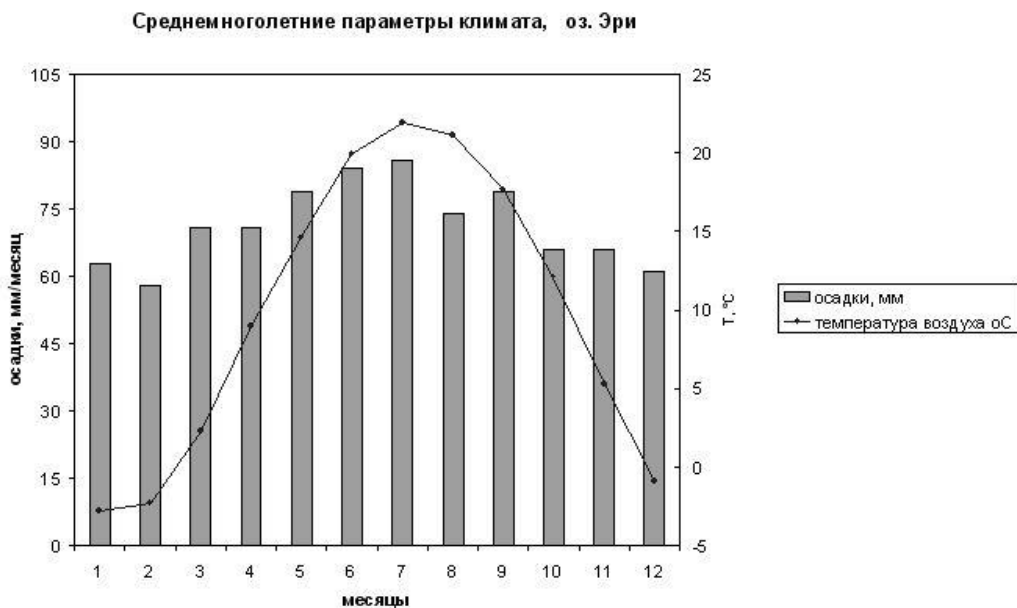


Рис. 4.11. Озеро Эри. Источник ИЛЕС, 1988.

Озеро Эри расположено южнее остальных озер, поэтому климатические показатели здесь более благоприятные (рис. 4.12), чем в районе озер Гурон, Мичиган и тем более озера Верхнее. Среднегодовое годовая температура воздуха в районе оз. Эри составляет  $9.8^{\circ}\text{C}$  (в районе оз. Мичиган  $8.3^{\circ}\text{C}$ ). Среднемесячная температура воды в июле-августе достигает  $21-22^{\circ}\text{C}$  по всей акватории озера. Летняя стратификация температуры отмечается только в центральной и восточной частях озера с начала июня до начала сентября. Ледостав продолжается 80 дней. В отличие от других озер системы оз. Эри часто покрывается льдом на 95-100%.

Изменения гидрохимического и гидробиологического режима озера стали наблюдаться с 30-40-х годов прошлого века в связи с усилением антропогенного воздействия, а уже в 1960-1970-х годах озеро стали называть «мертвой зоной». Общая минерализация воды возросла от 140 мг/л в 1900-1910-х гг до почти 200 мг/л в 1960 г., при этом резко возросла концентрация сульфатов, хлоридов, кальция соответственно на 11, 16 и 8 мг/л (Beeton, 1965). В придонных слоях центральной части озера снизилось содержание кислорода, и летом 1959-1960 гг оно было ниже 3 мг/л в 70% гипolimниона. В 1970 г. к концу сентября кислород был полностью потреблен во всем гипolimнионе на площади 12200 км<sup>2</sup>. В отдельных работах этого периода приводятся высокие средние концентрации общего фосфора в воде озера – до 50 - 61 мкг/л (Chandler, 1964, Schelske, Roth, 1973).

Гидробиологический режим озера в этот период также изменился, причем эти изменения коснулись как планктонных, так и донных биологических сообществ. В начале 1950-х годов круглый год доминировали диатомовые водо-



**Рис. 4.12.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Cleveland.

росли, хотя летом часто важным компонентом был *Dinobryon*. К 1960 году увеличилась роль зеленых и синезеленых, в западной части озера нередко отмечалось «цветение» воды за счет массового развития синезеленых. Доминирование синезеленых и зеленых в летний период продолжалось на протяжении всех 1970-х гг. Диатомовые весной в основном были представлены эвтрофными индикаторными видами *Stephanodiscus tenuis*, *S. hantzschii*, *S. binderanus* и *S. niagarae*. Для этого периода были характерны высокие показатели биомассы фитопланктона, причем они различались по районам озера, а также в прибрежной зоне. В 1970 г. в наиболее загрязняемой западной части общая биомасса была максимальной весной  $13 \text{ г/м}^3$ , а в августе —  $8 \text{ г/м}^3$ . В центральной части озера максимальная биомасса фитопланктона достигала 6, а в восточной —  $4 \text{ г/м}^3$ . В прибрежных районах максимальная биомасса составляла  $10\text{-}12 \text{ г/м}^3$  (Munawar, Munawar, 1986). Летняя концентрация хлорофилла «а» в 1970-х годах в центральной части озера составляла  $3\text{-}5 \text{ мкг/л}$  и только к 1980-му году опустилась до  $1 \text{ мкг/л}$  (Data Book..., 1988). В 1978 г. западная и юго-западная части озера оставались эвтрофными, здесь концентрация хлорофилла «а» летом достигала  $6\text{-}11.9 \text{ мкг/л}$  (Wallen, Votek, 1984).

Значительное эвтрофирование озера вызвало также существенные изменения в составе зоопланктона. Появились теплолюбивые эв-

трофные виды *Chydorus sphaericus*, *Leptodiatomus siciloides*, *L. minutus*, *Skistodiatomus oregonensis* и сократилось количество копепоидов, обитающих, как правило, на глубине — *L. sicilis* и *L. macrurus*. Количество копепоидов уменьшилось по сравнению с суммарным количеством циклопов и кладоцер (Barbiero et al., 2001). Общее количество зоопланктона в начале 1970-х годов составляло в этот период в западной, центральной и восточной частях соответственно 1218, 184 и 154 экз./л, а биомасса 2.8, 3.8 и 2.9 мг/л (Patalas, 1999). Изменился состав донных организмов. Так, личинки поденок *Hexagenia* ранее были важным компонентом зоопланктона в западной и центральной частях озера с численностью до 500 экз. на  $\text{м}^2$ , но в период 1950-1960 годов, когда резко уменьшилось содержание кислорода в придонной воде, они почти полностью исчезли. Однако увеличилось количество олигохет (*Tubifex* spp.) в западной части озера, которое не опускалось ниже  $5\text{-}20$  тыс. экз. на  $\text{м}^2$  (Beeton, 1965). Озеро Эри всегда отличалось самыми высокими рыбными запасами по сравнению с другими озерами системы. Из-за загрязнения, ухудшения кислородного режима и кормовой базы озера изменился состав и запасы коммерческих видов рыбного населения. Надо отметить, что морская минога не оказала такого негативного действия, как в других Великих американских озерах. Тем не менее после 1925 года резко сократился вылов сига до 2.6 млн кг против

22.1 млн в начале века, а в 1930 году он составил 1 млн. кг. После 1948 г. вылов сига оставался очень низким и в 1962 г составил всего 6 тыс кг. Снизился вылов судака и после 1953 г. составил 450-1500 кг, хотя десятилетие назад его вылавливали до 500 тыс. кг. В 1970-х судака был запрещен к употреблению из-за высокой концентрации ртути в их теле. Заморы рыбы стали довольно обычными в озере в 1960-х годах (Beeton, 1965, Data Book..., 1988).

С конца 1970-х гг. США и Канада предприняли серьезные усилия и затратили огромные суммы денег для восстановления нормального режима озера. Предпосылками хорошего результата служила небольшая скорость водообмена озера, составляющая всего 2.5 года, в случае прекращения поступления в воду загрязняющих веществ их концентрация в озерной воде должна быстро снижаться. За 1970-80 гг. благодаря вводу на большинстве промышленных и коммунальных предприятиях современных методов очистки стоков, удалось добиться снижения поступления фосфора в оз. Эри на 85%. Содержание общего фосфора в конце 1980-х годов в центральной части озера уменьшилось до 13-15 мкг/л (Data Book..., 1988). В дальнейшем сохранялось различие трофического статуса в различных частях озера – от мезо-эвтрофного в западной части до олиготрофного в восточной. В 1990-е гг. содержание общего фосфора изменялось в них от 25.4 до 7.1 мкг/л (Phytoplankton..., 2000).

Улучшение состояния озера подтверждают изменения гидробиологического режима. Проведение подробных исследований фитопланктона в озере в 1998 г. показали, что весной доминирующей группой фитопланктона являлись диатомовые как по видовому составу (74 вида диатомовых из 140), так и по биомассе (почти 80% общей биомассы). По биомассе доминировала диатомовая *Aulacoseira islandica*, менее распространенными были эвтрофные виды диатомовых *Stephanodiscus binderanus*, *S. hantzschii f. tenuis*, *S. niagarae*. Крпифитовые водоросли присутствовали в основном в центральной и восточной частях озера, среди которых наиболее часто встречался *Rhodomonas minuta*. Весной биомасса фитопланктона, в отличие от других озер, значительно различалась по акватории озера, уменьшаясь от западной части к восточной от 6 г/м<sup>3</sup> до 0.25 г/м<sup>3</sup>. Средняя по озеру биомасса составляла 0.52 г/м<sup>3</sup>. Летом состав фитопланктона возрос до 200 видов. В озере

сменились доминанты. Зеленые *Pediastrum simplex* и *Pediastrum* spp. составляли значительную долю общей биомассы в западной и центральной частях озера. Незначительно увеличился вклад в биомассу криптофитовых (*Rhodomonas minuta*) и синезеленых (*Microcystis* spp.) водорослей. Общая биомасса фитопланктона летом уменьшилась по сравнению с весной и изменялась от западного района к восточному от 2.5 до 0.1 г/м<sup>3</sup> (средняя по озеру 0.4 г/м<sup>3</sup>). Концентрация хлорофилла весной составляла 0.5-3.5 мкг/л, летом – 1-1.5 мкг/л. Сравнение этих количественных данных с данными, полученными в 1970-х, указывает на улучшение экологического состояния озера, несмотря на присутствие видов – индикаторов эвтрофного состояния озера (Barbiero, Tuchman, 2001).

Сообщество зоопланктона также отреагировало на уменьшение уровня эвтрофирования озера. Прежде всего увеличилось количество копепоид по сравнению с суммарным количеством кладоцер и циклопов: в период 1983-1987 гг их соотношение в западной, центральной и восточной частях озера соответственно составляло 0.27, 0.58 и 0.69, а в 1998 г. это соотношение было выше - соответственно 0.35, 0.86 и 0.63. Из состава зоопланктона выпала некоторые эвтрофные виды. Так, почти полностью исчезли виды кладоцера *Chydorus sphaericus*, которая является хорошим индикатором эвтрофных процессов и в период 1950-1960 гг. широко присутствовала, особенно в западной части озера. Другой вид, типичный для продуктивных озер *Limnodiaptomus siciloides* и широко распространенный по всей акватории озера в середине прошлого века, к началу 2000-х гг. стал встречаться только в западной части озера. Реликтовый каланоид *Limnocalanus macrurus*, бывший до 1920-х годов одним из наиболее обильных представителей ракообразных, продолжал отсутствовать в озере был. Весной 1998 г. численность ракообразных (кладоцеры, копепоиды и циклопы) в западной, центральной и восточной частях составляла, соответственно, 2.5, 1.5 и 0.1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а летом - 21.8, 16.4 и 8.8 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Barbiero et al., 2001).

Некоторые изменения произошли и в сообществе донных организмов. Прежде всего восстановилась в западной части озера популяция личинок поденок (Hexahenia), которые являются хорошим кормом для рыб. Кроме того, в западной части озера распространены



олигохеты (*Limnodrilus* spp.), *Chironomus plumosus*, моллюски (*Pisidium*, *Sphaerium*), в восточной части - олигохеты (*Tubifex* spp.), хирономиды (*Chironomus plumosus*, *Procladius denticulatus*) и появился реликтовый бокоплав *Monoporeia affinis*. В 1988 г. в Великих американских озерах появился новый вселенец *Dreissena polymorpha*, и он очень скоро распространился в мелководной западной части оз. Эри. Высокая фильтрационная активность дрейссен привела к уменьшению концентрации взвешенных веществ и увеличению прозрачности воды в этом районе. Появление другого глубоководного вида дрейссены *Dreissena bugensis* способствовало более широкому их распространению, что негативно повлияло на развитие остального бентоса (Howell et al., 1996).

Озеро Эри продолжает оставаться наиболее рыбным озером среди американских озер и в последние годы коммерческий вылов рыбы составил почти 23 млн кг, однако это произошло за счет увеличения вылова таких рыб как корюшка, карп, окунь, рыба-барabanчик (*Aplodinotus grunniens*), подкаменщик, нотропис. Вселение молоди лососевых и сиговых рыб способствовало появлению в уловах ценных пород. Содержание хлорорганических веществ в судаке и корюшке уже в 1980-х годах не превышало принятые в США стандарты (Data Book..., 1988). На примере подкаменщика (*Ameiurus nebulosus*) было показано, что количество заболеваний, связанных с появлением опухолей на коже рыбы уменьшилось с 61% в 1992 г. до 19% в 1999 г., а появление опухолей на печени в 1992 г. составляло 22%, а в 1999 г. они обнаружены не были (Rygon et al., 2001).

С начала 1960-х гг. озеро Эри потеряло свою рекреационную привлекательность. Почти полное сведение лесов нарушило водное равновесие на водосборе, обработанный слой почвы начал смываться в озеро, что резко ухудшило условия существования прибрежной растительности. Шторма интенсивно размывали берега, усиливая вынос в озерную воду почвы и иловые отложения прибрежных участков, которые превратились в «жидкую грязь». Многие пляжные участки либо потеряли свою былую привлекательность, либо были официально закрыты из-за высокого уровня бактериального загрязнения. Природные ландшафты сохранились лишь в национальных заповедниках и заказниках. Хотя ситуация в

озере в последнее время улучшилась, на побережье озера выделено достаточно много участков, где экологические условия вызывают значительную тревогу. Тем не менее, оз. Эри может быть хорошим примером превращения его из «мертвой зоны» в озеро с достаточно благоприятными условиями, но требуются еще дополнительные меры по его восстановлению.

#### 4.5. ОЗЕРО ОНТАРИО

Озеро Онтарио по площади занимает последнее место среди Великих американских озер, но по глубине и объему водной массы оно заметно превосходит оз. Эри (табл. 4.1). Координаты озера 43° 12' – 44° 13' с.ш., 76° 15' – 79° 49' з.д. Озеро расположено на территории Канады (провинция Онтарио) и США (штат Нью-Йорк) (рис. 4.1, 4.13). Водосбор озера превышает его площадь в 3.4 раза.

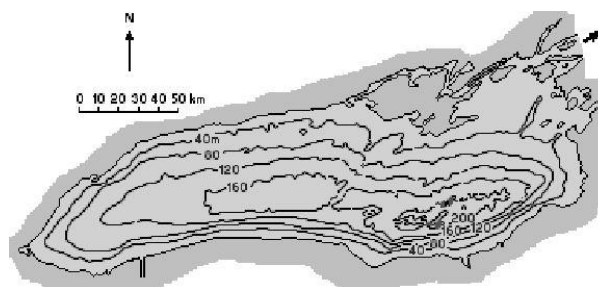
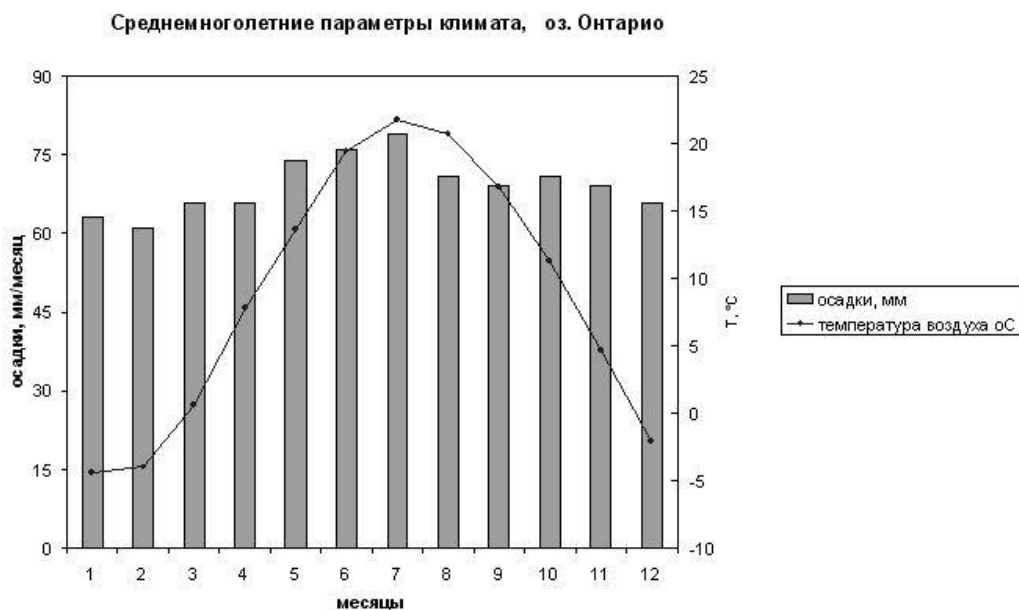


Рис. 4.13. Озеро Онтарио. Источник ИЕС, 1988.

Берега озера невысокие, пологие, местами покрыты густым лиственным лесом. Много песчаных пляжей. Основной тип рельефа побережий – озерные равнины, представляющие собой окраинные морены ледника, покрытые отложениями древних ледниковых озер. В юго-восточной части побережья встречаются высокие остроконечные скалы, в северо-восточной части – высокие дюны. Большая часть южного и юго-западного побережья занята обширными фруктовыми плантациями. Земли побережья озера плодородны и удобны для сельскохозяйственного использования, поэтому водосбор оз. Онтарио считается самым освоенным для сельскохозяйственных нужд из всех Великих американских озер.

На северном (канадском) побережье расположено много промышленных центров, прежде всего один из самых крупных городов в Канаде – Торонто с населением 2.5 млн. человек. Торонто является центром так называемой



**Рис. 4.14.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Rochester.

«золотой подковы», которая охватывает западное побережье озера, и где проживает около 7 млн. человек. На западе при впадении реки Ниагара расположен порт Гамильтон (с населением 0.5 млн. человек), а на северо-востоке на истоке р. Св. Лаврентия – порт Кингстон (с населением 1.1 млн. человек). Для сохранения естественных ландшафтов побережий озера на территориях США и Канады создан ряд национальных парков-заповедников.

Дно оз. Онтарио понижается достаточно круто и равномерно к центральной части озера. Глубины более 100 м занимают большую часть котловины, а максимальная глубина 240 м расположена в восточной части озера в обширной по площади впадине с глубинами 150-200 м (рис. 4.13). К истоку реки Св. Лаврентия глубины уменьшаются до 20-25 м. Имея значительные глубины по всей котловине и меньшую по сравнению с другими озерами системы площадь, оз. Онтарио достаточно устойчиво к ветру, и сильные шторма наблюдаются главным образом при северных ветрах.

Температура воздуха в бассейне оз. Онтарио в июле-августе поднимается до 20-22°C, однако среднегодовая температура воздуха ниже, чем в районе оз. Эри – соответственно 8.8 и 9.8° С (рис. 4.14). Температура воды в среднем для озера в июле-августе не превышает 18-20°C. Озеро димектическое. Летняя температурная стратификация образуется в период с начала

июня до середины октября, средняя глубина термоклина – 20-25 м. Период ледостава продолжается с середины января до начала апреля, но как и в других рассматриваемых озерах оз. Онтарио полностью не замерзает, обычно льдом покрывается лишь 15% его площади.

Озеро Онтарио получает около 90% воды через р. Ниагара из оз. Эри. На севере из оз. Онтарио вытекает р. Св. Лаврентия, по которой осуществляется сток из всей системы Великих озер. Поступление водных масс из оз. Эри, которое одно из первых начало интенсивно загрязняться, интенсивное освоение собственного бассейна, рост промышленного потенциала, и как следствие рост численности населения не могло не сказаться на экологическом состоянии оз. Онтарио. Химический режим озера практически не менялся в течение периода 1854-1907 гг и был такой же, как в оз. Эри. Общая минерализация воды в этих озерах составляла около 140 мг/л. Однако к 1960 г. общая минерализация воды в оз. Онтарио возросла до 185 мг/л, главным образом за счет увеличения концентрации сульфатов с 15 до 30 мг/л, хлоридов – с 7 до 23 мг/л, кальция с 30 до 40 мг/л. Эти изменения проходили параллельно с изменениями в оз. Эри. Увеличение ионного состава в воде оз. Онтарио совпало с ростом промышленного потенциала городов Торонто, Гамильтон, а также индустриальная экспансия с верховья р. Ниагара.

Не только загрязнение воды, но и эвтрофирование озера начало проявляться в 1960-х годах. Последнее сказалось на кислородном режиме озера. Насыщение кислородом воды гипolimниона зимой в начале 1960-х годов было невысоким – 50-60%, но уже в 1971-1972 гг, когда улучшилось состояние озера, оно возросло до 75% (Beeton, 1965, Data Book..., 1999). Изменения коснулись и гидробиологических сообществ, их состава и количественных показателей. Фитопланктон достаточно активно изучался в период 1970-1983 гг, что дает возможность выявить его изменения с началом использования различных мер по отводу и очистки сточных вод. В 1970 г. зимой и весной диатомовые составляли 90% от общей биомассы. Летом состав водорослей был более разнообразным, наряду с диатомовыми доминировали зеленые и синезеленые, встречались также криптофитовые. Фитофлагеллаты составляли 30% общей биомассы. Массовое развитие зеленых и синезеленых водорослей указывало на эвтрофные процессы в озере в этот период. С января по май диатомовые доминировали как в прибрежной зоне, так и в открытой части озера, в прибрежной зоне доминировали эвтрофные виды *Melosira varians* и *M. binderana*, тогда как в центре озера - *M. islandica* var. *helvetica*. К 1978 г. уменьшилась роль зеленых и особенно синезеленых водорослей и увеличилась – диатомовых и криптофитовых. Из диатомовых исчезли некоторые эвтрофные виды *Melosira* (*Stephanodiscus*) *binderana*, *Stephanodiscus tenuis*, *S. hantzschii*, которые были обычными в 1970 г. В пелагической зоне озера летняя биомасса фитопланктона уменьшилась с 3.0 г/м<sup>3</sup> (1.4-5.9) в 1970 г до 0.35 г/м<sup>3</sup> в 1983 г., а хлорофилл «а» с 4-12 до 1 – 2.5 мкг/л. За этот же период уменьшилась концентрация растворенного реактивного фосфора с 15 до 7 мкг/л (Munawar, Munawar, 1986, Data Book..., 1988, Pollinger, 1990). По исследованиям, проведенным в 1998 г., состав фитопланктона с 1978-1998 гг. мало изменился, весной практически не встречались эвтрофные виды диатомовых. Летом основную биомассу составляли хризофитовые и зеленые, появились, хотя и в небольшом количестве, виды *Cyclotella*, которые характеризуют олиготрофный тип озер. Видовой состав фитопланктона был ниже, чем в других озерах: весной и летом не более 110-120 видов. Биомасса фитопланктона осталась на уровне 1983 г. - около 0.43 г/м<sup>3</sup>, что подтверждало мезотрофный уровень продуктивности озера на уровень 1990-х

гг. (Barbiero, Tuchman, 2001).

Видовой состав ракообразных оз. Онтарио отличается от других Великих американских озер прежде всего тем, что здесь доминирует молодь копепод и циклопов. Молодь диатомид составляет всего 1 % от численности летних ракообразных, тогда как в оз. Эри эта величина достигает 21%, в оз. Мичиган и Гурон – 29%, в оз. Верхнее – 55%. Летом в настоящее время в оз. Онтарио доминируют кладоцеры *Daphnia retrocurva*, *Bosmina longirostris* и из циклопов *Diacyclops thomasi*, а в начале прошлого века доминировали копеподы и различные виды дафний. Современный видовой состав ракообразных сохраняется постоянным с середины 1960-х годов, несмотря на то, что в 1970-1980-х годах были проведены следующие важные мероприятия в озере: во-первых, снижена фосфорная нагрузка на озеро на 40% и, во-вторых, увеличены запасы лососевых рыб, многие из которых используют в качестве пищи зоопланктон (Johannsson, 1987, Barbiero et al., 2001). В 1970 г. Численность ракообразных в оз. Онтарио составляла 80 экз./л, биомасса – 2.9 мг/л (Patalas, 1999). В 1998 г. численность была меньше – около 30 экз./л (Barbiero et al. 2001).

Донные организмы в оз. Онтарио представлены реликтовыми ракообразными *Monoporeia affinius* и *Mysis relicta*, которые, как правило, характеризуют олиготрофный тип озера, но могут встречаться и в мезотрофных водоемах. Присутствие этих организмов отличает оз. Онтарио от оз. Эри и приближает к другим озерам рассматриваемой системы. Из олигохет наиболее часто встречается *Stylodrilus heringianus*, которая считается индикатором олиготрофных условий, из хирономид *Procladius* spp. и *Heterotrissocladius oliveri*. Развитие олиготрофных видов зообентоса в оз. Онтарио обусловлено низкой температурой и достаточным количеством кислорода в придонных слоях воды. После 1988 г. в оз. Онтарио, как и в других озерах рассматриваемой системы, началось массовое развитие дрейссены, которая благодаря своей высокой фильтрационной активности уменьшила содержание взвешенных веществ в воде и увеличила прозрачность воды озера. Негативным последствием развития дрейссены является аккумуляция ею значительного количества кальция. Как было подсчитано, в 1997 г. во всем сообществе дрейссены содержалось около  $1.33 \times 10^8$  кг кальция, что снижало концентрацию кальция и

щелочность в воде озера. Снижение кальция отрицательно влияет на развитие фитопланктона. Кроме того, массовое распространение дрейссены угнетающе действует на зообентос (Barbiero et al., 2006).

Количественные показатели рыбного населения озера ниже, чем в оз. Эри. Коммерческий вылов составил в 1975-1981 гг всего 1.1-3.5 тыс. т. Раньше озеро было лососевым, драматическая ситуация 1930-1950 гг значительно снизила численность ценных пород рыб, в том числе сига, форели, судака. Оз. Онтарио было первым, где появились вселенцы - морские миноги, и уже из этого озера они распространились по всем другим Великим американским озерам, особенно после строительства Уелленд-канала в обход Ниагарского водопада. Успешная борьба с миногой и выпуск в озеро молоди лососевых и сиговых рыб несколько улучшили состояние рыбного хозяйства озера. Коммерческий вылов состоит из сиговых, корюшки, мелкой озерной сельди, белого и желтого окуня, американского сомика, мороны, алозы и др.

Загрязнение озера токсическими веществами не могло ни сказаться на содержании тяжелых металлов и хлорорганических соединений в донных отложениях и в тканях рыб, однако в настоящее время концентрации этих веществ не выходят за пределы принятых стандартов. Проблема все еще остается в районах высокоиндустриальных портов и заливах.

### **Заключение**

В кратком заключении необходимо отметить следующие характерные особенности Великих американских озер. Огромные запасы пресной воды являются главной причиной противостояния озер значительному антропогенному влиянию. Все озера и их водосборы интенсивно осваивались на протяжении нескольких столетий - рост промышленности и сельского хозяйства, добыча полезных ископаемых, строительство гидроэлектростанций, развитие лесопромышленных комплексов, интенсивный рыбный промысел, судоходство, рекреация. Меньше всего пострадало от антропогенной деятельности оз. Верхнее, сохранив высокое качество воды и олиготрофный статус. Значительно изменили свое состояние оз. Онтарио и особенно оз. Эри. С начала прошлого века США и Канада начали совместные исследования всех озер с целью выявления степени их загрязнения и эвтрофирования. В 1972 году

правительства США и Канады подписали Первое Соглашение о качестве воды в Великих озерах, на основании которого были разработаны меры по уменьшению фосфорной нагрузки на озера Эри и Онтарио за счет очистки промышленных и муниципальных сточных вод. С этого времени началось постоянное наблюдение за состоянием озер на международном уровне. Стратегическими направлениями природоохранной политики стали сокращение фосфорной нагрузки, токсических загрязнений, проступающих из воздуха и суши, уменьшение загрязнений донных отложений и подземных вод. Все эти меры способствовали улучшению экологического состояния озер, в том числе озер Онтарио и Эри. Великие американские озера стали примером возможности сохранения в озерах высокого качества воды и низкого трофического уровня в условиях чрезвычайно высокого уровня индустриального развития, высокой плотности населения, строительства многочисленных крупных городов на их берегах.

### **ОЗЕРА КАНАДЫ**

На севере Канады на границе Докембрийского щита и Внутренних равнин расположены крупнейшие озера мира – Большое Медвежье, Большое Невольничье, Атабаска и Виннипег (рис. 4.15). Озера и их водосборы занимают территорию с координатами 49-67° с.ш. и 96-124° з.д.. Водная система озер Атабаска - Большое Невольничье и Большое Медвежье относится к водосбору р. Макензи, впадающей в Северный Ледовитый океан, и является самой большой системой на Северных территориях Канады (рис. 4.16). Оз. Большое Медвежье находится на юге субарктической зоны, его северная часть расположена за полярным кругом. Остальные озера находятся в таежной (бореальной) зоне. На большей части рассматриваемого региона широкое распространение имеет многолетняя мерзлота, пропадающая лишь на юге таежной зоны.

Из всех Канадских озер самым большим по площади является оз. Большое Медвежье, хоть озера Большое Невольничье и Виннипег уступают ему лишь немногим (табл. 4.3), площадь оз. Атабаска значительно меньше. По происхождению и особенностям лимнологии озеро Атабаска порой относят к Великим озерам и часто рассматривают вместе с ними (Larkin, 1964). Нельзя не отметить, что на соседней тер-

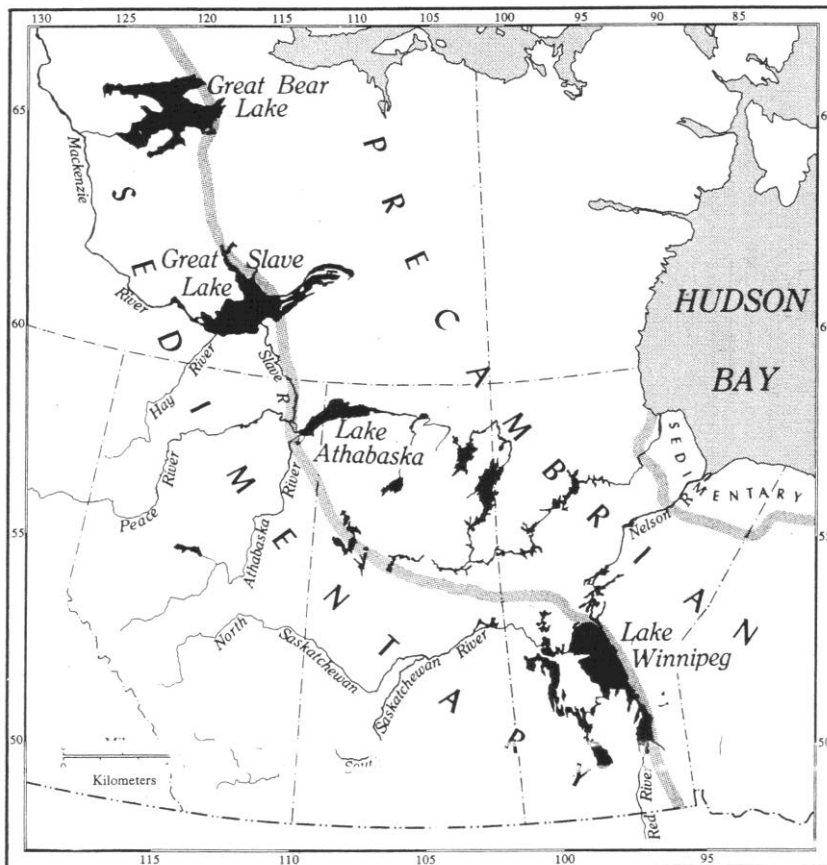


Рис. 4.15. Большие озера Канады. Источник: Northcote, Larkin, 1963



Рис. 4.16. Водосбор оз. Большое Медвежье и Большое Невольничье. Источник: Johnson, 1994..

Таблица 4.3. Морфометрическая характеристика озер

Показатели	Большое Медвежье	Большое Невольничье	Атабаска	Виннипег
Высота над уровнем моря, м	186	156	213	217
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	31353	27050	7770	23750
Объем водной массы, км <sup>3</sup>	2236	2090	155	284
Максимальная глубина, м	446	614	253	36
Средняя глубина, м	71.7	73	20	12
Время водообмена, год	124			2.9-4.3
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	114717	985300	274540	953250

ритории расположено еще семь озер с площадью от 3100 до 6500 км<sup>2</sup> - это озера Рейндер, Виннипегосис, Нипигон, Манитоба, Дубонт, Вудс и Южное Индейское.

Все четыре рассматриваемые нами озера имеют сходное происхождение. Их бассейны были выработаны ледниковой эрозией в позднейшее геологическое время в относительно мягких породах, залегающих вдоль кристаллического щита. По мере отступления последнего ледника, постгляциальные озера на краю щита постепенно принимали современную форму. Оз. Виннипег является остатком огромного ледникового озера Агассиз (Agassiz). Остальные озера формально были одним огромным водоемом, который дренировался на юго-восток. Его уровень располагался приблизительно на 150 м выше современного. Возраст озер составляет около 10 тысяч лет.

Поверхность Докембрийского щита начиная с кембрийского периода неоднократно подвергалась эрозии. Последняя интенсивная эрозия имела место в течение плейстоценового периода, когда ледниковые воды смыли с поверхности щита накопившийся ранее почвенный покров, сделав ее каменистой и бесплодной, и привела в такое беспорядочное состояние пути стока, что поверхность была испещрена бесчисленными озерами. В этот период были выведены на поверхность минеральные богатства древних пород – железо, никель, кобальт, золото, уран и др. Разработка месторождений – одна из крупнейших отраслей индустрии Канады (Кинг, 1961). Внутренние равнины, покрытые осадочными породами, окружают щит и примыкают к озерам с запада (рис. 4.15).

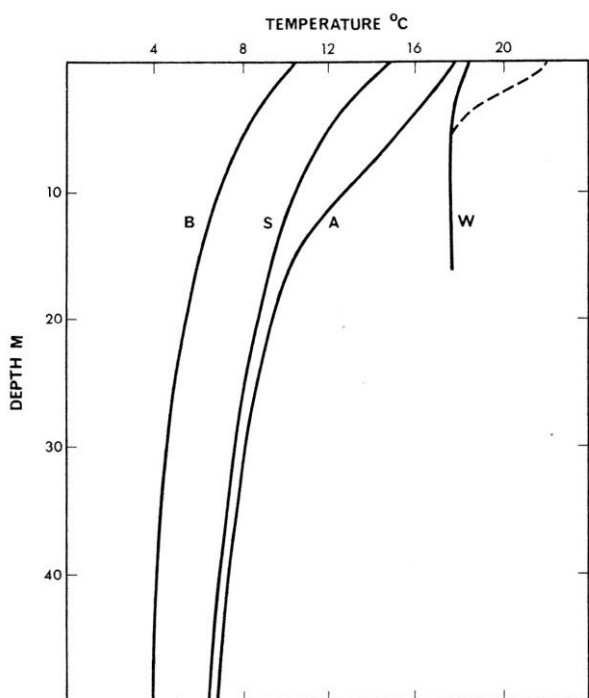
В настоящее время озеро Большое Медвежье имеет сток в р. Макензи, но этот сток доста-

точно слабый, площадь водосбора этого озера невелика (табл. 4.3). Река Макензи вытекает из оз. Большое Невольничье, которое получает почти 77% воды из реки Невольничьей, вытекающей из оз. Атабаска. В свою очередь оз. Атабаска имеет два крупных притока - реки Атабаска и Фондю-Лака. Озеро Виннипег не принадлежит к системе р. Макензи, главными ее притоками являются р. Ред, впадающая в озеро с юга, р. Саскатчеван, впадающая в озера с запада и р. Виннипег, протекающая по Докембрийскому щиту. Сток из озера осуществляется по реке Нелсон, воды которой поступают в Гудзонов залив.

Климатический режим озер различается, что объяснимо различием их широтного положения. В то же время 15°C изотерма для июня-августа проходит через западную часть оз. Большое Медвежье, через оз. Большое Невольничье, восточный конец оз. Атабаска и заканчивается недалеко от восточной части оз. Виннипег, что говорит о близких среднетемпературах (Larkin, 1964). Поскольку озера имеют значительную водную массу, они смягчают климат, уменьшая количество морозных дней. В среднем за год температура воздуха изменяется от - 7.2°C в районе оз. Большое Медвежье до 2.5°C в районе оз. Виннипег. Почти все озера значительную часть года покрыты льдом. На территории, окружающей озера Большое Медвежье и Большое Невольничье, почвенный покров большую часть времени находится в мерзлом состоянии, что препятствует поступлению с водосбора биогенных элементов. Хотя в среднем за лето температура воздуха близка, температурный режим воды озер различается и зависит от глубины и циркуляционных процессов в озерах. Типичные температурные профили озер для середины



лета представлены на рис. 4.17.



**Рис. 4.17.** Температурные профили канадских озер (для середины лета): В – Большое Медвежье, S – Большое Невольничье, А – Атабаска, W - Виннипег. Источник: Larkin, 1964.

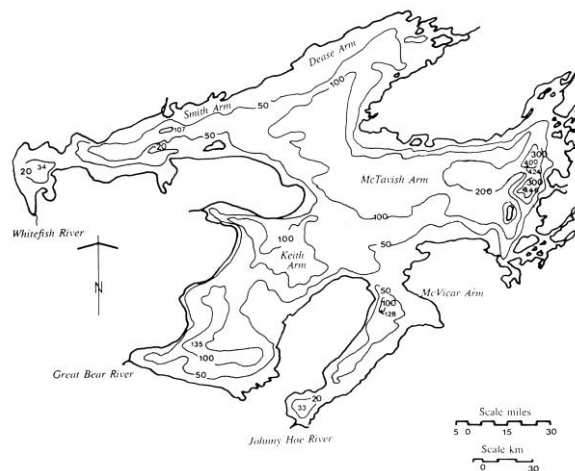
Водосборы озер Б. Медвежье, Б. Невольничье и Атабаска слабо заселены. Численность населения в бассейне оз. Б. Медвежье не превышает 700 человек, включая приезжих. Бассейны озер Б. Невольничье и Атабаска начали заселяться, когда возникла необходимость добычи золота, серебра и урана, запасы которых на этих территориях значительны. Так возникли города Йеллоунайф на северном берегу оз. Б. Невольничье и Форт-Чипевьян на западном берегу оз. Атабаска. Бассейн оз. Виннипег по сравнению с предыдущими озерами заселен достаточно плотно, здесь находятся такие крупные города как Виннипег, Калгари, Эдмонтон (Johnson, 1994).

Подробно режим озер будет рассмотрен для каждого озера отдельно.

#### 4.6. ОЗЕРО БОЛЬШОЕ МЕДВЕЖЬЕ

Акватория озера Большое Медвежье (рис. 4.18) пересекает северный полярный круг, и является самым крупным озером Канады. Его коор-

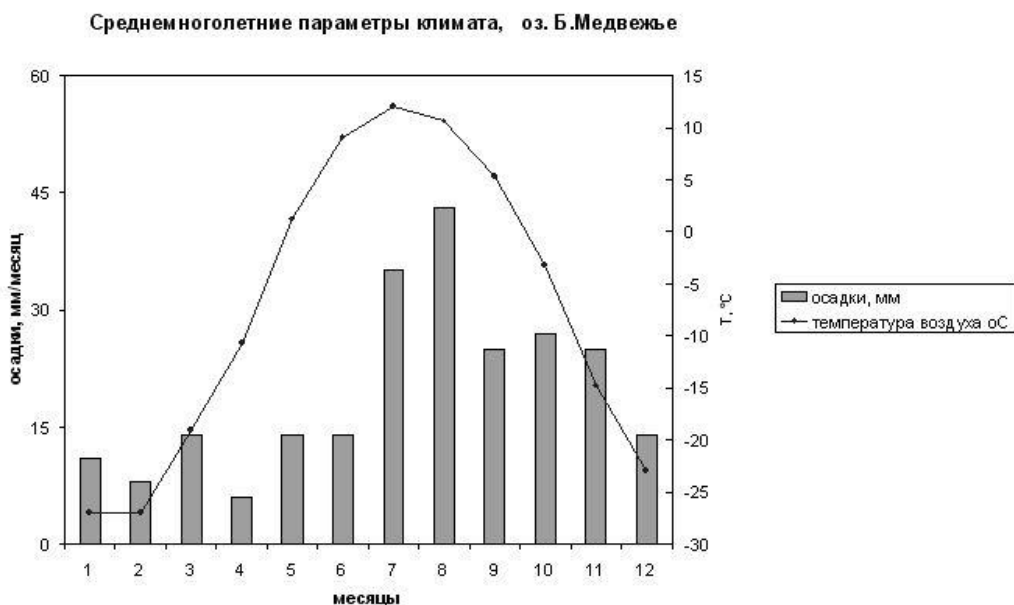
динаты -  $64^{\circ} 47' - 67^{\circ} 00'$  с.ш.,  $117^{\circ} 40' - 125^{\circ} 00'$  з.д. Среди крупнейших озер мира оно занимает восьмое место по площади и десятое по объему водной массы.



**Рис. 4.18.** Батиметрическая карта оз. Большое Медвежье. Источник: Johnson, 1994.

Докембрийский щит формирует восточный край озера. Этот регион озера представляет собой живописный пейзаж со множеством островов и протяженными озерными фьордами. Между щитом и Внутренними низменностями, формирующими западную часть озера, находится узкая полоса пород, состоящих из известняков и доломитов с включениями песчаников. Равнинная часть бассейна озера представлена мягко волнистыми ландшафтами со случайными холмами. Климат региона холодный, арктический (рис. 4.19). Озеро занимает территорию рядом с северной границей леса, водосбор его невелик (табл. 4.3). На юге и западе от озера лес представлен черной и белой елью, а к северу лес уступает место тундре, деревья встречаются лишь в наиболее защищенных местах.

Раньше бассейн озера заселяли различные индейские племена, первое проникновение сюда европейцев относится к 1799 г и связано с установкой поста торговли мехом. В 1898 г были предприняты геологические исследования, которые отметили залегание ценных металлических руд на восточном побережье озера. В 1930 г. были открыты также месторождения серебра и кобальта, и построены добывающие шахты. Однако в этих месторождениях были обнаружены урановые руды, добыча которых оказалась нерентабельной. Шахты были закрыты в 1940 г., после чего вплоть до 1964 г. они



**Рис. 4.19.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Port Radium.

то открывались, то закрывались. Каких-либо крупных населенных пунктов в бассейне озера нет.

Озеро обладает очень сложной конфигурацией и состоит из пяти рукавов. Западная часть озера наиболее мелководная, максимальные глубины свыше 400 м характерны для восточных районов озера, здесь же находится наибольшее количество островов (рис. 4.18). Озеру свойственны многие черты полярных озер. Количество солнечных часов за год 1854, средняя солнечная радиация составляет 10 МДж/м сут. Большую часть года, с ноября по июль, озеро находится подо льдом. Озеро мономиктическое, его полное перемешивание происходит достаточно редко и при медленном прогревании водной толщи. Как правило, циркуляция затрагивает лишь слой выше 200-300 м. Эпилимнион интенсивно прогревается лишь в августе, от 2.7-3.8° С в начале месяца до 3.5-5.2° С в конце. В гипolimнионе температура воды остается практически на одном уровне – 3.5-3.6° С.

Прозрачность воды достигает 27-30 м, и только в отдельных заливах она не превышает 10 м. Величина рН колеблется в пределах 7.8-8.1. Общая минерализация воды составляет 98 мг/л. Вся водная толща озера насыщена кислородом, содержание которого не опускается ниже 12.3-14.2 мг/л. Содержание биогенных элементов низкое: концентрация общего азота в августе на поверхности составляла 0.49 мг/л, концентрация общего фосфора была ниже пределов

точности измерений (Northcote, Larkin, 1963, Johnson, 1994).

Низкая температура воды, слабая обеспеченность биогенными элементами, отсутствие источников загрязнения обуславливают низкую биологическую продуктивность озера. Озеро является ультраолиготрофным с высоким качеством воды. Практически все биологические сообщества представлены бедным видовым составом с низкими количественными показателями. Высшая водная растительность практически отсутствует из-за длительного периода ледостава, только в наиболее изолированных заливах присутствуют хвощ (*Equisetum*) и хвостник обыкновенный (*Hippuris vulgaris*). Видовое разнообразие фитопланктона также невелико, наиболее обычными видами являются диатомовые (*Cyclotella* sp., *Synedra acus*), хризофитовые (*Dinobryon bavaricum*, *D. sociale*), криптофитовые (*Rhodomonas minuta*) и хлорофитовые (*Ankistrodesmus falcatus*). Биомасса фитопланктона в июле при температуре воды 0°С составляла 62 мг/м<sup>3</sup>, в сентябре она увеличилась до 70-91 мг/м<sup>3</sup>. Было высказано предположение, что мелазира в воде озера находится в покоящемся состоянии, а динобрион в виде спор (цит. по Pollinger, 1990).

Зоопланктон также представлен небольшим количеством видов, в основном копеподами – реликтовыми *Limnocalanus macrurus* и *Epischura nevadensis*, а также *Senecella calanoides*, *Diaptomus sicilis*, *Cyclops scutifer*, *C. vernalis*, встреча-

ются кладоцеры *Daphnia middendorffiana*, *D. longispina hyalina*, *Bosmina longirostris*. Коловратки представлены двумя видами *Keratella cochlearis* и *Kellicottia longispina*. Биомасса ракообразных составляет 0.13 мг/л, численность не превышает 1 экз. в 1 л (Patalas, 1975, 1990). Численность ракообразных в пересчете на всю водную массу равна 166 тыс экз. под 1 м<sup>2</sup>. Сравнение общей биомассы всех планктонных сообществ выявило, что 85% принадлежит копеподам, коловраткам – 10%, а на долю фитопланктона приходится лишь 5% общей биомассы (Larkin, 1964).

Так же как в других северных озерах Канады в оз. Большое Медвежье среди донных сообществ довольно широко представлены реликтовые амфиподы *Pontoporeia affinis* и *Mysis relicta*, кроме того, здесь встречается из амфипод *Gammarus lacustris* и ряд видов моллюсков *Pisidium* spp, *Sphaerium nitidum*, *Volvata cincera-helicoidea* и др. Видовое разнообразие зообентоса невелико. До глубины 10 м он представлен 11 видами, глубже 10 м тремя, а глубже 100 м – двумя (Data Book..., 1990).

Озеро Большое Медвежье практически не имеет рыбохозяйственного коммерческого значения. В нем по сравнению с другими рассматриваемыми озерами рыбная продукция довольно низкая, что обусловлено многими причинами – низкой температурой воды, своеобразной конфигурацией озера, небольшим содержанием биогенных элементов, низкой биологической продуктивностью. Рыбное население представлено небольшим видовым разнообразием, в самом озере встречаются озерная форель (*Salvelinus namaycush*) и сига (*Coregonus* spp). Основную трофическую цепь можно представить как «планктон – бокоплав *Mysis* – сиг – форель» (Larkin, 1964). Остальные виды приурочены к более теплым, мелким и изолированным заливам, но и здесь видовое разнообразие невелико – судак, налим, щука, подкаменьщик, колюшка. Обычно размеры отдельных экземпляров небольшие. Внутреннее коммерческое рыболовство не превышает 15 тонн в год (результаты 1988 г.), спортивный улов – 20 тонн (Johnson, 1994).

Озеро поддерживает свой ультраолиготрофный статус длительное время, что связано с отсутствием на него какого-либо серьезного антропогенного воздействия. Население здесь представлено в основном рыбаками и туристами. Несколько расширяется в последние годы

рекреационное использование озера, но все это происходит под наблюдением за состоянием озера в соответствии с законодательными актами по поддержанию качества воды и охране водных ресурсов.

#### 4.7. ОЗЕРО БОЛЬШОЕ НЕВОЛЬНИЧЬЕ

Озеро Большое Невольничье расположено на северо-западных территориях Канады, в 400 км южнее озера Большое Медвежье. Оно занимает десятое место в мире по площади и одиннадцатое по объему водной массы и седьмое место по максимальной глубине – 625 м (табл. 4.3). Его координаты - 60°48'-63°00' с.ш., 112°45'-117°20' з.д.

С юга в озеро впадает р. Невольничья, которая дренирует огромный бассейн площадью 606 тыс. км<sup>2</sup>. Расход реки составляет 3340 м<sup>3</sup>/сек., то есть всего в 2 раза меньше стока р. Св. Лаврентия, вытекающей из оз. Онтарио и являющейся одной из крупнейших рек Северной Америки. Летом ежедневно р. Невольничья вносит в озеро 54 тыс. тонн растворенных минеральных соединений и 36 тыс. тонн - взвешенных (Northcote, Larkin, 1963). С северо-западной части озера вытекает р. Макензи, отсюда река берет свое начало.

Водосбор озера, также как и водосбор оз. Большое Медвежье, принадлежит двум различным физико-географическим областям – кристаллическому, стойкому к процессам эрозии Докембрийскому Щиту на востоке и Внутренним равнинам - на западе. На кристаллическом щите произрастает таежный лес с низким бонитетом, в то же время как западные равнины характеризуются более плотным арктическим лесом, произрастающим на местности, сильно изрезанной деятельностью ледника. Величина ежегодного стока с этих районов различна: модуль стока больше с Докембрийского щита.

Озеро обладает сложной конфигурацией. Его западная часть отличается большими размерами, но меньшими глубинами. Восточная часть, включая заливы Маклеод и Кристи, значительно более глубокая, с максимальной глубиной в Кристи Бей 615 м. Восточная часть изобилует островами (рис. 4.20). Морфометрические особенности озера сказываются и на его температурном режиме. Средне-летняя температура воды в эпилимнионе изменяется от 3.7°С в Кристи Бей до 14.5°С в Западном районе. На протяжении почти 8 месяцев озеро

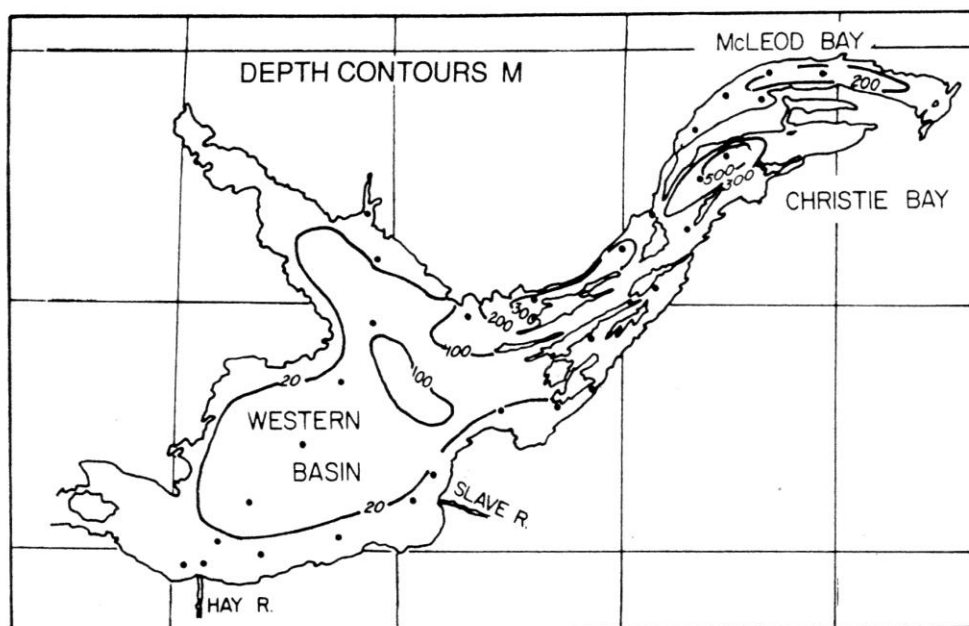


Рис. 4.20. Батиметрическая карта оз. Большое Невольничье. Источник: Patalas, 1990.

находится подо льдом. Ежегодные колебания уровня воды составляют 0.7 м.

Поскольку притоки озера и, особенно, р. Невольничья вносят в южный и западный мелководные районы озера значительное количество минеральных соединений, общая минерализация озерной воды, как и другие гидрохимические показатели, значительно изменяется по акватории озера. Величины общей минерализации воды максимальны в районе впадения р. Невольничьей, где они достигают 174 мг/л. С востока на запад эти величины изменяются от 22 до 82 мг/л (Larkin, 1964). Аналогично меняется прозрачность воды. В восточном районе озера прозрачность воды по диску Секки превышает 10 м, в западном – всего 1-2 м. В западном районе на низкую прозрачность влияют не только внесенные притоками взвеси, но и взмучивание донных отложений из-за мелководности района. Содержание кислорода в водной толще высокое и не меняется по вертикали.

Фитопланктон озера изучается довольно продолжительное время. Было выявлено, что сразу после вскрытия озера по биомассе доминируют диатомовые водоросли *Melosira islandica*, *Diatoma tenue* var. *elongatum* и *Stephanodiscus astrea*. В апреле 1976 и 1977 гг популяция зеленой водоросли *Chlamydomonas lapponica* интенсивно развивалась подо льдом,

когда увеличивался уровень освещения. Хризодитовые *Dinobryon bavaricum* и *D. cylindricum* появляются в июне, когда сокращается количество кремния после развития диатомовых. Биомасса фитопланктона подо льдом чрезвычайно низкая, а летом возрастает от 130 до 340 мг/м<sup>3</sup> (цит. по Pollinger, 1990). Эти величины характеризуют олиготрофный трофический уровень озера.

Показатели зоопланктона подтверждают низкую биологическую продуктивность озера. Зоопланктон распределяется по акватории озера неравномерно. Максимальное количество ракообразных приурочено к территориям впадения основных притоков, дренирующих Внутренние низменности – до 4-8 экз./л. В восточном районе озера было обнаружено 7 видов ракообразных, в западном – 15. Районы отличаются по доминирующим видам, хотя в обоих случаях доминанты представлены копеподами. В восточном районе доминирует *Limnocalanus macrurus* и в меньшей степени *Diatomus sicilis* и *D. ashladi*, в западном районе доминирует *Diatomus ashlandi* (Patalas, 1975, 1990). Средняя биомасса и численность ракообразных в западном районе озера соответственно составляют 0.7 мг/л и 2.9 экз./л, в восточном районе – 0.07 мг/л и 2.7 экз./л. В 50-е годы прошлого столетия была определён сухой вес планктонных организмов в северных озерах Канады. По этой величине восточный район оз.

Большое Невольничье был аналогичен оз. Большое Медвежье – соответственно 9 и 10 кг/га, в западном районе оз. Б. Невольничье эта величина была выше – до 21.8 кг/га (Larkin, 1964).

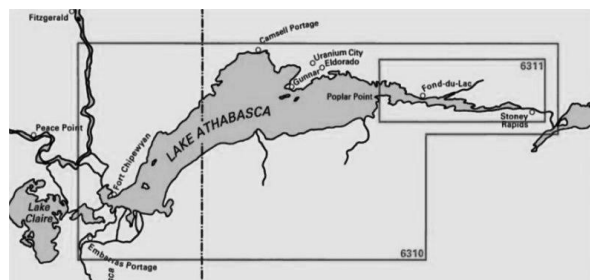
Донные организмы аналогичны другим северным олиготрофным озерам. В озере доминирует амфипода *Pontoporeia affinis*, которая составляет почти 62% от численности всех донных организмов. Здесь также встречается несколько видов моллюсков (*Sphaerium*, *Pisidium*), а также олигохет и хирономид (главным образом *Spaniotomia*). В зоне 0-5 м количество донных организмов составляет 3000 экз./м<sup>2</sup>, но на глубине 200-600 м их количество не превышает 300 экз./м<sup>2</sup>. Сухой вес зообентоса в восточной части озера составляет 0.7 кг/га, почти столько же сколько в оз. Большое Медвежье (0.67 кг/га). В среднем по озеру эта величина составляет 4.1 кг/га (Larkin, 1964).

Рыбное население озера довольно разнообразное, но коммерческое значение имеют лосось, форель, сиг. Коммерческий годовой вылов составляет около 4 тыс. тонн.

Водосбор озера довольно интенсивно осваивается, поскольку здесь находятся золотодобывающие, алмазодобывающие шахты, здесь также разрабатываются месторождения цинка, все это является причиной повышения в озерной воде, особенно в западной части озера, концентрации металлов, таких как медь, железо, цинк. Особую опасность представляет повышенное содержание в воде мышьяка и ртути, используемых при золотодобыче. Все это привело к необходимости проведения очистки наиболее загрязненных участков водосбора от этих элементов и разработки мер по соблюдению должной безопасности при их добыче. Центром золотодобычи является город Йеллоунайф, расположенный на северном берегу озера, с населением 18.7 тыс. человек. Раньше все товары завозились в город по льду озера, но в 1967 г. вокруг озера было построено шоссе, которое может эксплуатироваться круглый год, это в свою очередь привлекает сюда туристов, поток которых в последние годы возрос.

#### 4.8. ОЗЕРО АТАБАСКА

Озеро Атабаска расположено в пределах провинций Саскачеван и Альберта Канады и принадлежит речной системе Атабаска-Маккензи. Его координаты 58°36'-59°35'с.ш., 106°00'-111°00' з.д. (рис. 4.21).



**Рис. 4.21.** Озеро Атабаска. Источник: [http://www.fedpubs.com/charts/lake\\_athabasca.htm](http://www.fedpubs.com/charts/lake_athabasca.htm)

Средний годовой приток в оз. Атабаска оценивается в 45.9 км<sup>3</sup>. Основными притоками озера являются река Атабаска (53% притока), которая поступает в озеро через систему каналов, и река Фондю-Лака (21 % притока), дренирующая восточную часть Докембрийского щита. С севера и юга в озеро поступает еще множество других более мелких притоков. Озеро Атабаска разгружается по реке Ривиере дес Рочерс и ее притоку. Меньшая часть оттока проходит по реке Ченал дес Кватре Форчес. Эти три реки присоединяются к реке Пис и формируют реку Невольничья, впадающую в оз. Большое Невольничье. Дельта Пис-Атабаски является одной из самых больших в мире пресноводных дельт.

Долгое время система оз. Атабаска - р. Невольничья служила главным транспортным маршрутом региона. В середине 1960-х годов на р. Пис была построена дамба, в результате чего низкие уровни воды в ее нижнем течении начали угрожать экологическому балансу дельты Пис-Атабаски. Для сохранения дельты, восстановления ее уровней и сохранения биологических сообществ был построен ряд плотин. После завершения строительства регулирующих структур амплитуда ежегодных колебаний уровня озера стала меньше, чем в естественных условиях, когда уровень озера колебался в пределах 5.5м, с максимальным значением 211.3 м в июле 1935 г. и минимальным 205.8 в феврале 1970 г.

Северные и южные районы озера сильно различаются. С северной стороны находится Докембрийский щит, тогда как с южной – обширная область дюн. Дюны являются природной особенностью побережья озера, поскольку они самые активные в мире. Они возникли в результате ледниковой деятельности, когда недавние отложения были подвергнуты воздействию интенсивных штормовых ветров. Сейчас здесь организован Природный Парк.

Водосбор на северо-востоке от дельты Пис-Атабаска и по южному берегу озера покрыт арктическими смежными лесами, с доминированием осины и тополя. К северу от озера преобладают осина и ель. Растительность северо-восточной части водосбора состоит из лишайников и редких лесов из ели и американской лиственницы. К югу от этой области произрастает арктический лес, состоящий из сосны, ели, и чередующийся бесплодными землями. Сельскохозяйственные области расположены к юго-западной части водораздела.

Оз. Атабаска по сравнению с двумя предыдущими озерами можно назвать мелким. Небольшие глубины и постепенный наклон дна в западной части озера вероятно обусловлен поступлением осадочных отложений с водами р. Атабаски. Центральная часть озера является самой глубокой с максимальной глубиной 124 м. К востоку оно становится более мелким, максимальной глубиной не более 46 м. К восточному краю озеро заметно сужается, в центре сужения глубина составляет 29-50 м. По всему озеру расположено множество островов.

Озеро димиктическое, четкая температурная стратификация наблюдается в июле-августе, максимальная температура воды в поверхностном слое не превышает 17° С. Ледостав продолжительный – с октября по июнь.

Качество воды озера достаточно высокое. Согласно Larkin (1964) в летний период содержание растворенного кислорода от поверхности до дна было одинаковым. В марте под льдом концентрация кислорода на поверхности составляла 14-15 мг/л, а у дна – 10-12 мг/л. Общая минерализация распределялась по акватории озера неравномерно: в его западной части в районе впадения р. Атабаска она составляет 130 мг/л, а к востоку уменьшается до 52 мг/л (в среднем 58 мг/л). Основными ионами на всех участках являлись бикарбонаты и кальций. Прозрачность воды изменялась в пределах 3.8-5.6 м по диску Секки. Низкая концентрация биогенных элементов указывала на олиготрофный статус озера – концентрация общего фосфора не превышала 9-11 мкг/л, общего азота – 208-250 мкг/л.

Видовой состав фитопланктона оз. Атабаска практически аналогичен фитопланктону предыдущих озер и состоит в основном из диатомовых – наиболее массовых *Melosira islandica*, *Asterionella formosa* и из хризофитовых *Dinobryon divergens*. Отмечалось низкое содер-

жание хлорофилла «а» - 1.1 мкг/л, что также подтверждает олиготрофный тип озера. В районе впадения р. Атабаска концентрация хлорофилла возрастала до 7.7 мкг/л.

Зоопланктон представлен приблизительно 10 видами, преобладают копеподы реликтовые *Limnocalanus macrurus* и *Epischura lacustris*, а также *Diaptomus sicilis*, *D. ashlandi*, *D. minutus*, *Cyclops bicuspidatus*, *C. vernalis*, из кладоцер встречаются *Daphnia retrocurva*, *D. longiremis* и *Holopedium gibberum* (Patalas, 1975). Сухой вес планктонных организмов, определенный в 1950-х годах, был равен 36.6 кг/га, то есть немногим больше, чем в среднем для оз. Большого Невольничьего (Larkin, 1964).

В составе озерного бентоса доминируют амфиподы *Pontoporeia affinis*, которая составляют 61 % от численности всех донных организмов, и в меньшей степени *Mysis relicta*. Здесь также представлены моллюски и хирономиды. Сухой вес донных организмов составлял в среднем 4.1 кг/га, почти как в оз. Большое Невольничье (2.5 кг/га).

Основное использование озера связано с коммерческим и спортивным рыболовством. В озере обнаружено 23 вида рыб, наиболее распространены северная щука, судак, арктический голец, озерная форель, сиг. В 1961 г. была выловлена форель весом 46.3 кг. Средние общие уловы с 1985 по 1988 гг. составили 377 тыс. кг в год, максимальные уловы в 1930-х годах доходили до 1.16 тыс. тонн в год.

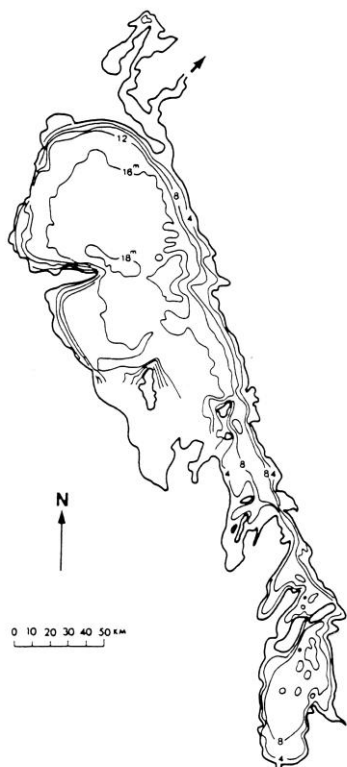
Водосбор озера слабо заселен. Четыре поселения на водосборе небольшие – по 220-247 человек. В регионе развита лесная и добывающая промышленность. Полезные ископаемые включают гипс, гранит, золото и уран. Озеро не имеет высокого рекреационного потенциала. В бассейне озера создано несколько Национальных парков и заповедников. Кроме Природного Парка на территории дюн, на большей части дельты Пис-Атабаска был создан Национальный парк Вуд-Баффало. Регион дельты и Национальный парк Вуд-Баффало обеспечивают природную среду обитания для множества птиц и млекопитающих, из последних следует назвать бизонов и американских лосей.

#### 4.9. ОЗЕРО ВИННИПЕГ

Озеро Виннипег расположено на северной границе канадских прерий в провинции Манитоба и является одним из крупнейших озер Канады. Как и предыдущие озера, оно расположено на



границе Докембрийского щита и Внутренних равнин (рис. 4.15). Координаты озера 50°23' - 53°50' с.ш., 96°22' - 99° 11' з.д. Озеро расположено на территории, ранее занимаемой огромным ледниковым озером Агассиз. Оно состоит из двух районов: широкого северного и узкого южного (рис. 4.22).



**Рис. 4.22.** Батиметрическая карта оз. Виннипег.  
Источник: Brunskill et al., 1994.

Озеро Виннипег, в переводе означающее «большие грязные воды», несмотря на обширную площадь, довольно мелководное. Его северный район более глубоководный, максимальная глубина зафиксирована в центре, в южном районе глубины не превышают 4-8 м. Озерная вода из-за ее перемешивания под действием сильных ветров остается почти всегда мутной, и ее прозрачность по диску Секки колеблется в пределах 0.35-2 м (Brunskill et al., 1994).

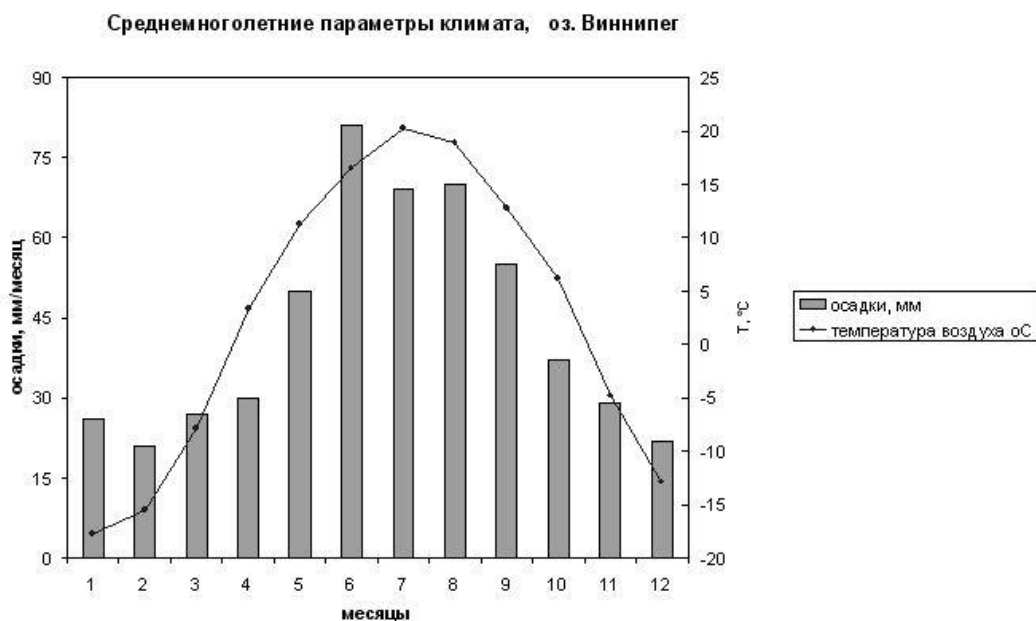
Сток из озера осуществляется через реку Нельсон, которая течет из северного района озера на север в направлении Гудзонова залива. В настоящее время на р. Нельсон построен каскад электростанций, позволяющий регулировать уровень озера. На юге в озеро впадает р. Рэд, на западе р. Саскачеван. В местах впадения этих

рек минерализация воды возрастает до 560 мг/л, тогда как в других районах озера она составляет 50 мг/л (в среднем 220 мг/л) (Larkin, 1964). С водами р. Рэд в озеро поступает большое количество загрязняющих и биогенных веществ, вымываемых из почв почти полностью распаханых прерий. Загрязняет озеро также г. Виннипег с населением 560 тыс. человек, расположенный в верхнем течении р. Рэд. Третья крупная река Виннипег поступает в озеро с Докембрийского щита.

Площадь водосбора озера огромная, она почти в 40 раз превышает площадь самого озера (табл. 4.3). Половину всей площади водосбора занимают сельскохозяйственные земли, которые используются для выращивания пшеницы, репы, овса, ячменя, ржи, и как пастбища. Леса занимают 40% водосбора, болота – 10%. Озеро окружено плотным кольцом леса, состоящего из вяза, ясеня, липы. Население водосбора составляет 3.9 млн. человек. Кроме г. Виннипег, на водосборе находятся другие крупные города - Калгари (более 1 млн. жителей) и Эдмонтон (730 тыс. жителей).

Наиболее высокие температуры воздуха в районе озера характерны для июля-августа – до 20°C (рис. 4.23), среднегодовая температура воздуха 2.5°. За год в среднем выпадает 517 мм осадков. Максимальная среднемесячная температура воды летом в центре озера не превышает 17.5°C, но в прибрежных районах в отдельные периоды может достигать 22°C. Вертикальные термические градиенты превышающие 1°C в водной толще не наблюдаются. Период ледостава меньше, чем в предыдущих озерах, и составляет 4-5 месяцев - с ноября по март (Brunskill et al.).

В оз. Виннипег поступает большое количество биогенных элементов, так, фосфорная нагрузка на озеро составляет 2980-10570 тонн в год, азотная – 47020-108280 тонн. Значительная нагрузка привела к достаточно высокой концентрации в озерной воде общего фосфора и азота, соответственно около 30 и 450 мг/м<sup>3</sup>, что не могло ни сказаться на продуктивности озера и, прежде всего, на развитии фитопланктона, который и количественно, и качественно отличается от фитопланктона предыдущих озер. В северной части озера доминируют диатомовые *Melosira islandica*, *M.*



**Рис. 4.23.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Winnipeg

*italica*, *Stephanodiscus binderanus*, здесь также встречаются диатомовые *S. niagarae*, *S. rotula*, *Tabellaria fenestrata*, *Synedra nana*. В южной части озера нередко наблюдается «цветение» воды при массовом развитии синезеленых водорослей, прежде всего доминирующей здесь является *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*. Синезеленые в озере могут составлять до 15% общей биомассы, также активно развиваются зеленые (*Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*), которые могут в течение летнего периода составлять 5-15% общей биомассы водорослей. В течение летнего периода общая биомасса фитопланктона в северной части озера с июня по начало августа уменьшается от 1.2 до 0.3 г/м<sup>3</sup>, а затем возрастает до 2.5-2.8 г/м<sup>3</sup> в сентябре-октябре. Точно также изменяются величины хлорофилла «а», соответственно 2.2, 1.1 и 5.5 мкг/л (Larkin, 1964, Necky et al., 1986).

Зоопланктон распределяется по акватории озера неравномерно. В северной части озера отмечается более высокое видовое разнообразие ракообразных (17) по сравнению с южной (13). В северной части доминируют копеподы *Cyclops bicuspidatus* и *Diaptomus ashlandi*, на долю которых приходится более 70% численности ракообразных, которая здесь составляет 53.3 экз./л, их биомасса не превышает 1 мг/л. В южной части озера доминируют *D. ashlandi* и *C. vernalis*, численность которых соответственно составляет 60 и 12.8 % общей

численности ракообразных. Общая численность ракообразных в южном районе озера почти в два раза выше, чем в северном и составляет 108 экз./л, а общая биомасса — 2.65 мг/л (Patalas, 1975).

Сравнить количественные показатели планктонных организмов оз. Виннипег и предыдущих озер можно по сухому весу организмов, определение которого было проведено в 1950-1960 гг. В оз. Виннипег эта величина составила 50 кг/га, то-есть была в 10 раз выше, чем в оз. Большое Медвежье, в 2.5 раза выше, чем в оз. Большое Невольничье и в 1.4 раза выше, чем в оз. Атабаска (Larkin, 1964). По трофическому статусу северную часть оз. Виннипег можно отнести к мезотрофным водоемам, южную - к эвтрофным.

Донная фауна озера, оставаясь в своей основе такой же, как в других северных озерах, имеет и свои особенности. Здесь распространены амфиподы *Pontoporeia affinis*, на долю которых в 1930-х годах приходилось до 64% от численности зообентоса. Донная фауна обильно представлена видами отряда Trichoptera. Ориентировочно численность бентоса составляет 5000 экз./м<sup>2</sup>, сухой вес — 44 кг/га, что значительно превышает данные по другим северным озерам (Larkin, 1964).

Оз. Виннипег широко используется для коммерческого рыболовства, оно богато рыбным населением, наиболее значимыми являются

**Таблица 4.4.** Основные морфометрические показатели озер

Показатели	Ладожское озеро	Онежское озеро	озеро Сайма	озеро Ильмень
Высота над уровнем моря, м	5.1	35	76	20
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	17 872	9 720	4 380	1090-1200
Объем водной массы, км <sup>3</sup>	838	291.8	61	2.9-3.5
Средняя глубина, м	46.9	30	14	2
Максимальная глубина, м	230	120	85.3	4
Время водообмена, лет	11	12		0.25
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	258 600	56 394	61 070	67 200

судак, сиг, окунь, щука, озерный осетр, чучуган. Годовой рыбный улов достигает 7726 тонн. Кроме коммерческого рыбоводства, озеро используется также для туризма и рекреации (плавание, спортивное рыболовство, яхты) (Brunskill et al., 1994). На водосборе развито сельское хозяйство и животноводство, горнодобывающая (нефть, никель, золото, серебро, медь.) и обрабатывающая промышленность. На берегах озера организован Провинциальный национальный парк.

### ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА ЕВРОПЫ

В северо-восточной части Европы в умеренном поясе северного полушария находится уникальная система крупнейших озер, в которую входят озера Ладожское, Онежское, Сайма и Ильмень. Своеобразие этой системы состоит в том, что каждое из озер Онежское, Сайма и Ильмень через реки Свирь, Вуокса, Волхов имеют собственный сток в Ладожское озеро, которое является замывающим в этой системе и в свою очередь имеет сток в Балтийское море через р. Неву. Вся эта обширная территория водосбора расположена на Северо-Западе России, а также Центральной и Южной Финляндии. На территории России находится 81.4 % бассейна, на территории Финляндии -18.5 %. Небольшая часть бассейна 0.1% - на территории Беларуси.

Озера рассматриваемой системы обладают значительными водными ресурсами. Ладожское и Онежское озера – самые большие в Европе и входят в двадцатку крупнейших озер мира: Ладожское по площади занимает 15, Онежское – 19 место, а по объему водных масс они

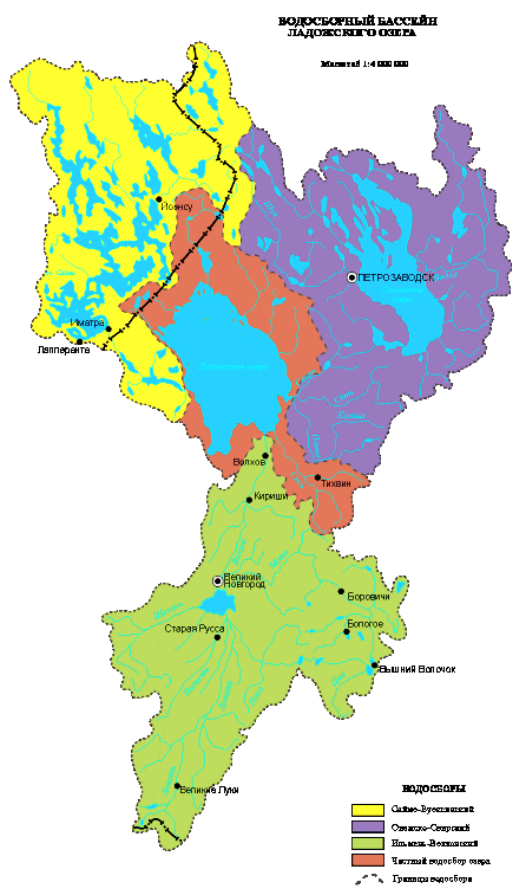
занимают соответственно 15 и 23 места среди крупнейших озер мира (табл.4.4).

Водосборный бассейн системы включает четыре вторичных бассейна: частный водосбор Ладожского озера (28.4 тыс. км<sup>2</sup>), Онежско-Свирский (83.2 тыс. км<sup>2</sup>), Ильмень-Волховский (80.2 тыс. км<sup>2</sup>) и Сайма-Вуоксинский (66.7 тыс км<sup>2</sup>) (рис. 4.24). Водосбор расположен в пределах Балтийского кристаллического щита и его погруженного склона. Климат здесь формируется под воздействием западного воздушного переноса. Континентальные воздушные массы играют подчиненную роль. Влияние Атлантики ослабевает в направлении с запада на восток. В этом же направлении нарастает континентальность климата. Среднегодовая температура воздуха изменяет от 1.1 до 3.0°С, увеличиваясь в южном направлении; с запада на восток, особенно в южной части водосбора, она уменьшается от 3 до 2°С.

Водосбор относится к двум растительным зонам: тайги и смешанных лесов. Зона тайги включает три подзоны: северной, средней и южной тайги. В северной и средней тайге преобладают сосновые леса, которые занимают 50-70% площади леса, еловые -26-30%. Для южной тайги характерны еловые леса, которые полностью не сохранились, так как на их месте возникло большинство сельскохозяйственных земель. Северная граница зоны смешанных лесов проходит южнее г. Пскова и севернее оз. Ильмень. Здесь к хвойным породам в большом количестве примешаны дуб, клен, вяз, липа, береза, осина.

Характерной особенностью бассейна является насыщенность озерами. Здесь, кроме основных

названных озер, расположены десятки тысяч других больших (до 200 км<sup>2</sup>), средних и малых озер. Из наиболее крупных следует назвать озера Водлозеро, Сямозеро, Б.Калла, Пиэлинен, Юоярви. Хейтияйнен. Только в российской части водосбора число озер ровно 26261, а их площадь – 36631 км<sup>2</sup> (Ресурсы поверхностных вод..., 1965). Коэффициент озерности в Онежско-Свирском вторичном бассейне составляет 16.7%, в Ильмень-Волховском он значительно ниже – всего 3.4 %. Основной озерный фонд сосредоточен к северу от линии р.Нева- р. Свирь.



**Рис. 4.24.** Схема водосбора Ладожского озера.  
Источник: Атлас Ладожское озеро.

По территории бассейна протекают многочисленные реки и ручьи, связывающие озера в единую водную систему. Так, только в российской части водосбора число водотоков достигает 48308 с суммарной длиной 126544 км, что составляет три длины земного экватора. Наиболее крупные реки с длиной более 300 км - Водла с Илексой, Мста, Ловать. Система рек и озер, а также заболоченность отдельных территорий, которая изменяется от 10-50% в

бассейне р. Вуокса до 60-70% в бассейне рек Ловать, Полисть, Шелонь, регулируют сток в крупные озера и перехватывают поступающие с водосбора органические и минеральные вещества. Можно говорить, что именно природные условия сформировали экосистемы крупных озер, в первую очередь Ладожского, Онежского, Саймы, с высоким качеством воды. Однако так было только до начала интенсивного хозяйственного освоения водосбора, после чего огромная территория водосбора стала оказывать негативное воздействие на озерные экосистемы. Первые изменения на водосборе были связаны с гидротехническими преобразованием водотоков. В начале XIX века русло р. Вытегра было приспособлено для судоходства – проведено дноуглубление и построен ряд шлюзов. В настоящее время гидротехнические изменения коснулись относительно равномерно всех участков бассейна. Они связаны, прежде всего, со строительством ГЭС, созданием сезонных водохранилищ, строительством судоходных каналов с расчисткой русел рек.

В 1952 г. вслед за Нижне-Свирской ГЭС была возведена Верхне-Свирская ГЭС, что вызвало подпор Онежского озера, уровень которого возрос примерно на 1 м. Для обеспечения прохода судов произведена расчистка и углубление русла на участке ниже Нижне-Свирской ГЭС. Благодаря строительству двух электростанций и работам по формированию судоходного фарватера, р. Свирь оказалась преобразованной на всем своем протяжении (Кудерский и др., 2000). Гидростроительство внесло также значительные изменения в гидрологический режим р. Волхов и оз. Ильмень. Плотина ГЭС, построенная на нижнем течении реки, обеспечивает подпор уровня в ней на 13.5 м. При таких показателях подпор распространяется по всему течению р. Волхов и оз. Ильмень. Значительные изменения произошли в Сайма-Вуоксинском бассейне. У истока р. Вуокса построены Тайнионкоскинская ГЭС, регулирующая сток из оз. Сайма, и ниже ее ГЭС Иматра. На территории Ленинградской области находятся еще две ГЭС, которые вместе с двумя финскими станциями существенно влияют на речной режим и оз. Сайма. Гидротехническое строительство затронуло и частный бассейн Ладожского озера. На ряде северных притоков озера, расположенных в Финляндии, построены шесть ГЭС и шесть плотин различного назначения. На территории Карелии у

истока р. Янисйоки построена ГЭС. В бассейне рек Олонка, Оять, Паша построены плотины для малых ГЭС.

Наибольшее влияние на экологию водной среды в бассейне оказывает хозяйственная деятельность на водосборе, территория которого характеризуется высоким уровнем экономического развития. На территории водосбора проживает более 3.5 млн. человек, из них 2.7 млн. городских жителей. Среди промышленных предприятий преобладают водо- и ресурсоемкие отрасли. Большой удельный вес приходится на целлюлозно-бумажные, деревообрабатывающие, химические, нефтехимические, топливно-энергетические предприятия, машиностроение, энергетику, цветную металлургию, предприятия по разработке нерудных ископаемых. Такие отрасли оказывают наибольшую нагрузку на природно-ресурсный потенциал, так как характеризуются высокой степенью отходов и, следовательно, загрязнений. В 70-х годах прошлого столетия было отмечено бурное развитие промышленности. Показателем антропогенной нагрузки на водоемы может служить общий объем сточных вод, сбрасываемых предприятиями и коммунальным хозяйством. В Онежское озеро поступает в год 137.5 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, в Ладожское – 497.7 млн. м<sup>3</sup> и в оз. Сайма – 583.0 млн. м<sup>3</sup>, из которых 443.0 млн. м<sup>3</sup> - сточные воды промышленных предприятий (Экосистема Онежского озера..., 1990, Экологическая обстановка..., 1998, Saimaan alueen..., 1983). Из приведенных данных видно, что наименьшие объемы сточных вод сбрасываются в Онежское озеро, наибольшие - в оз. Сайма. Такое соотношение сохраняется и при рассмотрении удельного показателя (объем сточных вод на 1 км<sup>2</sup> акватории озера), который в озерах соответственно составляет 15600 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>, 28100 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> и 99300 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>. Хотя удельная нагрузка сточных вод на акваторию оз. Сайма в 4.7 раза выше, чем в Ладожском озере и в 8.4 раза выше, чем в Онежском, тяжелых экологических последствий в этом озере не наблюдается (Кудерский и др., 2000). Последнее обусловлено высокой эффективностью работ по очистке сточных вод (Laine, Minkkinen, 1998).

Сельскохозяйственными угодьями занято 11 % площади водосбора, где активно используются минеральные и органические удобрения. Кроме того, крупные животноводческие комплексы, птицефабрики, комплексы по выращиванию и откорму свиней, где очистные сооружения, как

правило, не отвечают современным стандартам, также служат источником загрязнения водной среды. Как реагируют озера рассматриваемой системы на антропогенное воздействие, будет рассматриваться для каждого озера отдельно.

Обширность водосборного бассейна в сочетании с избыточным увлажнением этой территории обуславливает формирование значительных объемов поверхностного стока, что усиливает влияние любых антропогенных изменений на водосборе на качество воды озер. Основной объем водного стока (70.5 км<sup>3</sup> в год), аккумулируемого в Ладожском озере, формируется на всех вторичных бассейнах – Онежско-Свирском - 20.8 км<sup>3</sup>, Ильмень-Волховском – 16.9 км<sup>3</sup>, Сайма-Вуоксинском – 19.3 км<sup>3</sup>, частном водосборе Ладожского озера - 13.5 км<sup>3</sup> в год. Удельный вес каждого из этих бассейнов следующий – 29.5%, 24.0%, 27.4% и 19.1%. Таким образом, поверхностный сток вторичных бассейнов близок по величине.

Значительные изменения на водосборе не могли не отразиться в большей или меньшей степени на экосистемах крупнейших озер бассейна Ладожском, Онежском, Сайме и Ильмень, хотя в настоящее время используются различные меры по восстановлению и охране их водных ресурсов.

#### 4.10. ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО

Ладожское озеро находится на территории Российской Федерации. Координаты озера 59° 54' - 61° 54' с.ш. и 29 °47'-32 °58' в.д. В древних русских документах оно называлось Нево, берега его были заселены человеком с очень давних времен. В летописи 1280 г. озеро впервые было названо «Ладога». В настоящее время озеро является чрезвычайно важным для российской экономики водным объектом. Это единственный источник питьевой воды для Санкт-Петербурга, крупного промышленного мегаполиса. На озере ведется рыбный промысел. Его водные ресурсы используются многими промышленными и сельскохозяйственными предприятиями. По акватории озера проходят важные водно-транспортные пути (Беломоро-Балтийский и Волго-Балтийский), плотность судоходных линий- 0.1 км/км<sup>2</sup>. С давних времен озеро использовалось как часть водного торгового пути. Из-за частых штормовых ветров при Петре I началось строительство

канала вдоль берега озера, протяженностью 117 км и соединяющего реки Волхов и Нева. В 1861-1866 годах, в связи с обмелением Староладожского канала, был построен Новоладожский канал протяженностью 110 км, который используется до сих пор для движения судов малого водоизмещения. Ладожское озеро является одним из наиболее изученных озер России, благодаря чему можно представить полную картину не только его возникновения, но и дальнейшей эволюции.

В четвертичное время через Приладожье несколько раз продвигались ледники. Помимо ледникового выпахивания происходило накопление ледниковых отложений, что создало основные черты современного рельефа озерной котловины. Ледники покинули Ладожскую котловину около 12 тыс. лет назад (История Ладожского, Онежского ..., 1990). В настоящее время котловина озера расположена в районе соединения двух геологических структур. Северная часть Ладожского озера лежит на Балтийском кристаллическом щите, южная – на Русской платформе. Южная граница щита в ближайших к Ладоге районах проходит приблизительно по линии Выборг – Приозерск - исток р. Свири. Древние породы, слагающие Балтийский щит, выходят на дневную поверхность, будучи прикрыты местами лишь тонким слоем рыхлых осадков четвертичного времени. Среди архейских пород главное место в строении щита занимают различные граниты, мигматиты, гнейсы, кристаллические сланцы. К югу от Балтийского щита в районе Ладожского озера обнажаются раннекембрийские отложения Русской платформы. Кембрийская толща представлена двумя комплексами: валдайским, состоящим из пестрых песчаников и тонкослоистых сланцев, и балтийским, сложенным песчаниками, песками и пластическими синими глинами. Балтийский комплекс имеется только на юго-восточном побережье Ладоги. Толщина покрова рыхлых четвертичных отложений в приладожской части Русской платформы достигает десятков метров.

Различие в геологическом строении разных частей бассейна Ладожского озера отражается и на строении его озерной котловины. Рельеф дна северной части котловины повторяет рельеф прилегающей суши и состоит из глубоководных впадин, чередующихся с более мелководными участками. Преобладают глубины более 100 м. К западу от острова Валаам находится самое глубокое место озера (230 м),

в шхерном районе также есть впадины глубиной 150-220 м. В южной части озера дно более ровное, глубины постепенно уменьшаются от 100 м на севере до 10 м и менее на юге (рис. 4.25). Здесь много песчаных и каменных

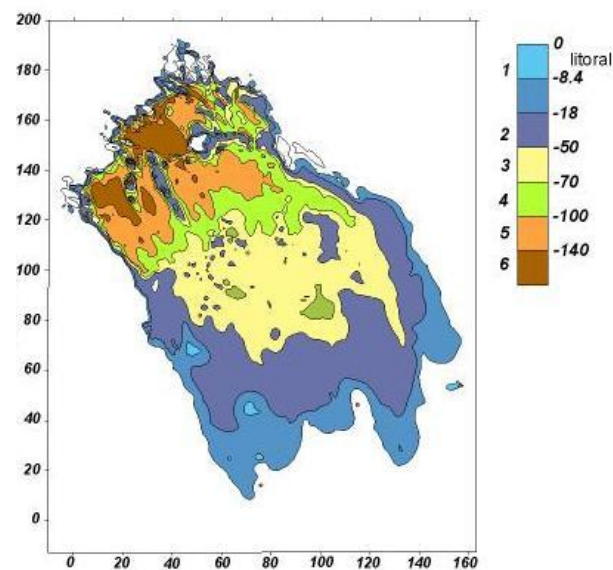
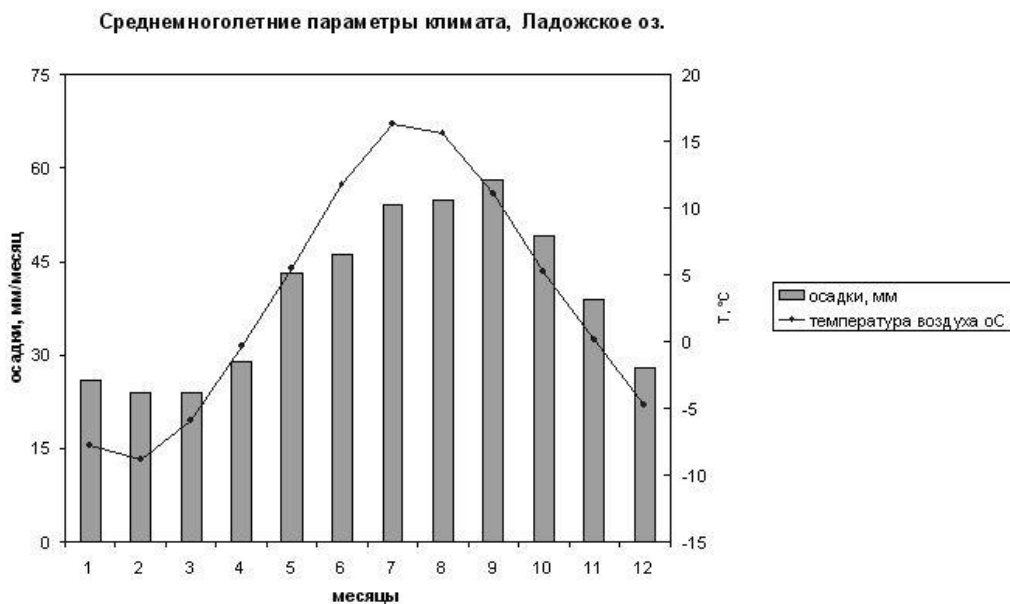


Рис. 4.25. Карта глубин Ладожского озера.  
Источник: Науменко, 1995

кос и мелей, а также скоплений валунов на дне. Проведенное районирование глубин Ладожского озера позволило охарактеризовать особенности этих районов: 1 – мелководный район охватывает прибрежную зону, включающую в себя практически все мели, банки и при-островные мели, это самый большой по площади район (5550 км<sup>2</sup>), в котором сосредоточено тем не менее только 6% объема воды озера; 2 – переходный район (18-50 м) с большим уклоном дна по сравнению с первым районом и со значительно большим разгоном ветра, площадь его 4685 км<sup>2</sup> и здесь сосредоточено около 18% объема воды озера; 3 – район озерного уступа (50-70 м) имеет практически тот же самый уклон дна, что и мелководный, множество гряд пересекает этот район, площадь его 3797 км<sup>2</sup>, и здесь сосредоточен наибольший объем вод по сравнению с другими районами озера – 27%; 4 – склоновый район (70-100 м) с увеличивающимся уклоном дна, площадь его 1746 км<sup>2</sup> и в нем сосредоточено 17% объема воды; 5 – глубоководный район (100-140 м) с большим уклоном дна, площадью равной 1521 км<sup>2</sup> и в котором сосредоточено 21% озерной воды; 6 – впадины (более 140 м) обособлены друг от друга и занимают небольшую площадь 568 км<sup>2</sup> и в которых сосредо-





**Рис. 4.26.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. о-в Сухо.

точено 11% озерной воды (Науменко, Каретников, 2002). Сложная морфометрия озера обуславливает пространственно-временную неоднородность всех лимнических процессов.

На озере более 600 островов, к самым крупным из них относятся Риеккалансари (55.3 км<sup>2</sup>), Мантинсари (39.4 км<sup>2</sup>), Кильполе (32.1 км<sup>2</sup>), Тулолансари (30.3 км<sup>2</sup>) и Валаам (27.8 км<sup>2</sup>).

Северное положение озера определяет особенности его радиационного и термического режима, а также более высокую цветность и меньшую прозрачность воды по сравнению с другими великими озерами мира. Климат района формируется под влиянием морского воздуха из Атлантики, континентального из средних широт и периодических поступлений арктического воздуха (рис. 4.26). Весной в первую очередь прогреваются прибрежные районы, и на их границе с холодноводной центральной частью озера возникает термический бар, который постепенно перемещается все дальше от берегов. Разница температур по разные стороны термического бара иногда достигает 20° С. В конце июля - начале августа температура воды достигает максимальных величин 16-18°С, под слоем температурного скачка расположена холодная 4-градусная вода. Озеро димиктическое. Свободный ото льда период составляет 120-130 дней. Озеро полностью покрывается льдом в среднем около 15 февраля, а полностью очищается ото льда около 6 мая; раз в 4-5 лет его центральная часть не замерзает.

Средняя годовая амплитуда колебания уровня равна 69 см (крайние значения 21 и 126 см). Изменчивость сумм осадков из года в год довольно велика. При средней многолетней годовой сумме осадков 522 мм один раз в 20 лет осадки могут составлять 680 мм.

Природные условия сформировали экосистему озера с высоким качеством воды. В 1949 г. С.В. Гердом озеро было выделено в группу ультраолиготрофных озер с низкой биологической продуктивностью. Однако интенсивное хозяйственное освоение водосбора оказало негативное воздействие на озерную экосистему. В 1970-е годы началось бурное развитие промышленности и сельского хозяйства, в том числе строительство крупных животноводческих ферм. Многие предприятия строились по старым технологиям, а очистные сооружения не соответствовали экологическим нормам. Все это привело к резкому увеличению биогенной нагрузки на озеро, в результате чего концентрация общего фосфора увеличилась в среднем по озеру с 10 мкг/л (1959-1962 гг.) до 27 мкг/л 1976-1983 гг. (рис. 4.27). Концентрация минерального фосфора за этот период увеличилась с 3 мкг/л до 12 мкг/л. Концентрация общего фосфора возросла не так заметно – до 660 мкг/л против 450 мкг/л (Расплетина, 1992). Азот и фосфор являются наиболее важными элементами, влияющими на уровень развития биологических сообществ. Если в 1959-1962 гг. соотношение общего азота к общему фосфору составляло 45, то в

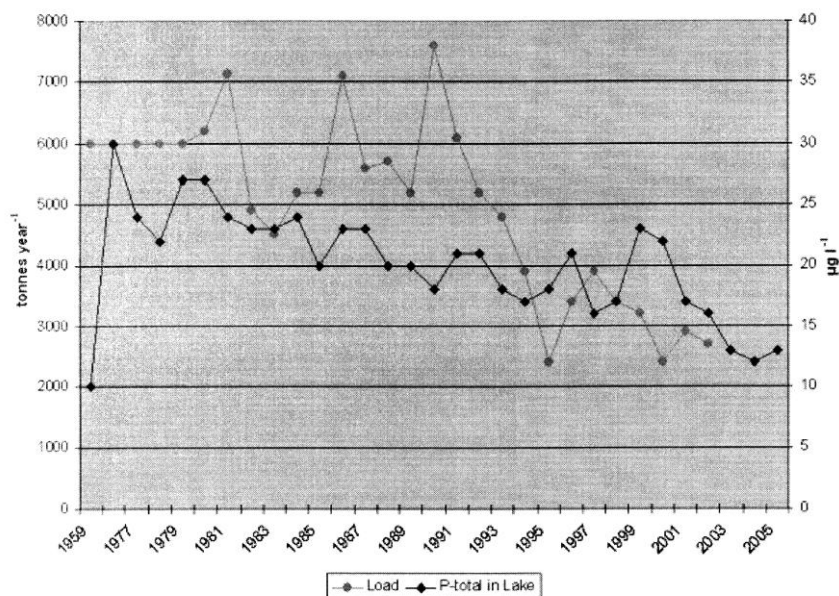


Рис. 4.27. Фосфорная нагрузка и концентрация общего фосфора в воде Ладожского озера. Источник: Viljanen et al., 2008

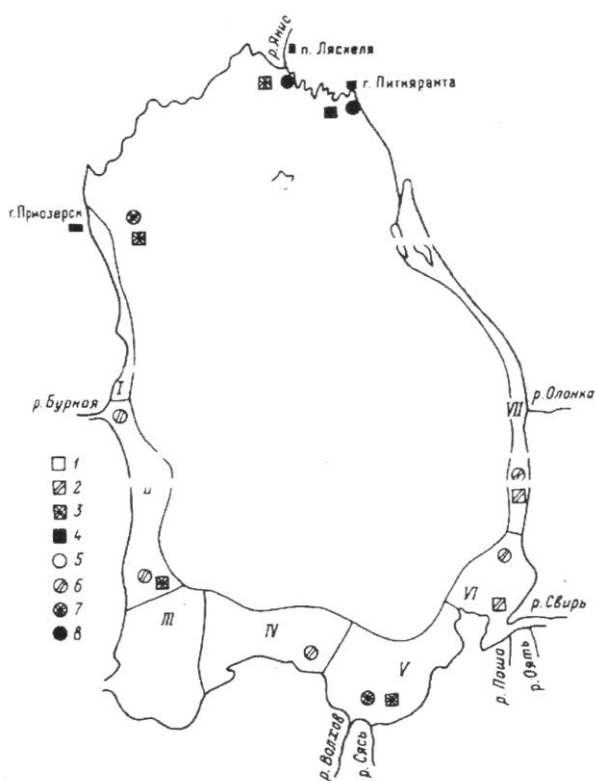
1976-1983 гг. оно упало до 24, а в Волховской губе даже до 12, что является четким показателем перехода озера в разряд мезотрофных, а в отдельных прибрежных районах даже эвтрофных (Расплетина, Сусарева, 2002). Немалую роль в увеличении концентрации фосфора в воде озера сыграл перевод Волховского алюминиевого завода на новое сырье – апатито-нефелиновые руды. В этот период средняя концентрация общего фосфора в р. Волхов (одном из основных притоков озера) увеличилась с 46 мкг/л (1959-1962гг.) до 230 мкг/л и выше. Для озера всегда была характерна низкая минерализация воды и превышение концентрации сульфатных ионов над хлоридными. В начале 1960-х годов средняя сумма ионов была около 55 мг/л, а к 1977-1981 гг. она повысилась до 62.9 мг/л.

Наиболее загрязненными участками озера стали Волховская губа из-за сильного загрязнения вод рек Волхов и Сясь промышленными стоками, Свирская губа, а также отдельные участки шхерного района, приуроченные к городам Питкяранта, Сортавала, Лахденпохья, где загрязнение происходило за счет деятельности целлюлозно-бумажных, деревообрабатывающих, пищевых, рыбообрабатывающих предприятий и поступления бытовых сточных вод (рис. 4.28).

Вслед за увеличением биогенной нагрузки на

озеро наблюдались значительные изменения в экосистеме озера. Наиболее важные из них: уменьшение концентрации кислорода в profundальной и ультрапроfundальной зонах, а также структурные и физиологические изменения биологических сообществ. В этот период изменился сезонный комплекс водорослей: виды олиготрофного озера дополнились видами эвтрофного. Это особенно четко проявлялось для летнего планктона, в котором при большом общем биоразнообразии начали резко преобладать синезеленые, а диатомовые почти полностью отсутствовали. Биомасса фитопланктона в этот период составляла 2-3 г/м<sup>3</sup>, что соответствовало мезотрофному озеру (Пырина, Трифонова, 1979). Изменения коснулись и зоопланктона. Резко сократилась численность крупных форм (в первую очередь *Limnocalanus macrurus*) и увеличилась численность коловраток и мелких ракообразных. Особенно четко это наблюдалось в бухте Петрокрепость и Волховской губе. Средний индивидуальный вес зоопланктона оказался в 4-5 раз меньше, чем был в 1940-х годах (Andronikova, 1996). В то же время средняя биомасса зоопланктона сохранилась в прежних пределах. Что касается макрозообентоса, то в ультрапроfundальной и profundальной зонах озера он не претерпел существенных количественных изменений. Однако в прибрежных районах произошло увеличение биомассы олигохет. Другим существенным изменением состава макрозообентоса

явилось почти полное исчезновение амфипод реликтового комплекса, таких как палласея и гаммаракантус. В этот период появились «мертвые зоны», обширные полисапробные зоны, особенно в районе городов Петрокрепость и Питкяранта (Слепухина, 1992). Максимальные концентрации хлорорганических соединений, 2-5 нг/л, были отмечены в районах впадения рек Волхов, Свирь, Вуокса.



**Рис. 4.28.** Уровень загрязнения прибрежных районов Ладожского озера в период максимальной антропогенной нагрузки в середине 1980-х гг. Выделенные зоны: I – северо-западный берег; II – юго-западный берег; III – бухта Петрокрепость; IV – южный берег; V – Волховская губа; VI – Свирская губа; VII – восточный берег. Уровни загрязнения по степени антропогенной нагрузки: 1 – допустимое; 2 – среднее; 3 – сильное; 4 – критическое. Характеристика загрязнения по биологическим показателям: 5 – слабое; 6 – умеренное; 7 – сильное; 8 – критическое. Источник: Гусаков, Петрова, 1990.

Изменения затронули и такой элемент биоты, как рыбное население. В Ладоге резко сократилась численность рыб с длительным циклом (лосось, озерная форель, палия, озерно-речные и озерные сига, судак и др.), что было обус-

ловлено несколькими факторами. Значительную роль сыграло нарушение естественного воспроизводства в реках в связи с гидростроительством, лесосплавом и в озерах из-за загрязнения нерестилищ стоками и сбросами предприятий. В Красную книгу России были внесены балтийский осетр, потерявший промысловое значение из-за гидростроительства на р. Волхов и неограниченного лова в прошлом, и волховский сиг. В составе рыбного населения увеличился удельный вес рыб с коротким жизненным циклом – это корюшка и ряпушка (Кудерский и др., 1997).

В 1983-1989 гг. наблюдалась некоторая стабилизация состояния озера, что было связано с перепрофилированием Приозерского целлюлозно-бумажного завода в 1987 г. и проведением технологических изменений на Волховском алюминиевом заводе. Концентрация общего фосфора несколько снизилась, и в среднем составила 22 мкг/л. В фитопланктоне началось заметное перераспределение ролей доминирующих видов в пользу форм олиготрофных озер (Петрова и др., 1992). Если в 1979-1983 гг. были выявлены наиболее характерные для процесса эвтрофирования представители родов *Microcystis* и *Oscillatoria*, то после 1983 г. снова стала преобладать *Aphanizomenon flos-aquae*.

С 1990 года началось резкое изменение социально-экономической обстановки на территории водосборного бассейна Ладожского озера. В конце 1990-х годов было сброшено сточных вод на 24% меньше, чем в 1992 г. В эти же годы на 51% уменьшилось водопотребление за счет сокращения потребностей промышленности, однако на муниципальные нужды оно увеличилось на 10 % (Smirnova, 1999). Наиболее существенные структурные изменения в сельском хозяйстве наблюдались в период 1990-1996 гг. В Ленинградской области площадь пашни сократилась на 6,8 тыс. га, наметилась устойчивая тенденция к сокращению поголовья скота, за рассматриваемый период оно уменьшилось на 50%. В этот период началось резкое снижение применения всех удобрений и пестицидов. По состоянию на 1996 г. опасность попадания в водоемы биогенных элементов, поступающих в почву с удобрениями, была практически снята. Токсическое загрязнение Ладожского озера также сократилось (Rumyantsev, Drabkova, 1997).

Изменения в промышленности и сельском хо-

зьястве на водосборе озера отразились, как и следовало ожидать, на внешней нагрузке. Так, поступление фосфора в озеро с водой рек в 1976-1982 гг. составляло 6-7 тыс. т/год, а в 1992-2005 гг. оно снизилось до 2.5 тыс. т/год. Одновременно с сокращением фосфорной нагрузки на озеро отмечалось уменьшение содержания общего фосфора в его воде. В 2003-2004 годах отмечались минимальные концентрации общего фосфора – 13 мкг/л (рис. 4.27). Концентрация общего азота практически не изменялась. Однако благодаря снижению общего фосфора, отношение общего азота к общему фосфору возросло до 34-36 в 1990-х годах, что характерно для мезотрофных озер, а в 2003-2005 гг. до 40-42, что уже характерно для слабomezотрофных озер.

Современное состояние гидробиологических сообществ озера остается довольно стабильным, несмотря на четкий тренд снижения антропогенной нагрузки. Количественные характеристики фитопланктона (биомасса 1.1-1.8 г/м<sup>3</sup>, хлорофилл «а» - 4.8-8.5 мг/м<sup>3</sup>) характеризуют озеро как мезотрофное и были на том же уровне, что и в 1970-х годах (Летанская, 2003). Что касается видового состава фитопланктона, то в настоящее время он близок к тому, что было получено в начале XX века, однако численность доминирующих видов изменилась. В настоящее время по биомассе доминируют синезеленые и криптозоаны, которые составляют 62-85 % от общей численности.

Высшая водная растительность в озере представлена 108 видами. Ведущую роль в зарастании играет тростник обыкновенный. Растения с плавающими листьями занимают небольшую площадь, а на значительной части литорали распространены группировки погруженного рдеста пронзеннолистного. Общая площадь зарослей близка к 13.43 тыс. га (4.8% площади литорали).

Численность и биомасса зоопланктона в верхнем слое воды 0-10 м соответствует слабomezотрофному уровню трофии при олиготрофном характере гипolimниона. В настоящее время из-за уменьшения численности каланоидов количественные показатели зоопланктона в слое 0-10 м по сравнению с 1970-ми годами несколько уменьшились: биомасса от 930-1171 до 600 мг/м<sup>3</sup>, численность от 89.8-66.9 тыс. экз./м<sup>3</sup> до 53.3 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Сопоставление данных по зоопланктону за 30-летний период

(1970-е – начало 2000-х гг.) показало, что биомасса зоопланктона в слое воды 0-70 м остается низкой и стабильной на протяжении всего этого периода (Andronikova, 1996, Авинский, 2002).

Донные биоценозы являются хорошим индикатором экологического состояния озер. О некотором улучшении состояния Ладожского озера говорит тот факт, что с середины 1990-х г. Стали вновь встречаться реликтовые виды, причем довольно часто. В последние годы в самых глубоководных районах только в конце 1990-х г. начали сказываться последствия антропогенного воздействия. Здесь все большее значение приобретают альфа-мезосапробные олигохеты (Барбашова, Слепухина, 2002).

Несмотря на снижение антропогенного воздействия и уменьшение концентрации фосфора в воде озера, стабильность количественного развития биологических сообществ можно объяснить инертностью внутренних озерных процессов, ввиду огромных размеров и пространственной неоднородности озера.

В настоящее время в центральной части озера экологическая ситуация складывается вполне благоприятная, однако сложившиеся в 1970-е годы прибрежные загрязняемые зоны сохраняются до сих пор. Общая площадь этих зон составляет 460 км<sup>2</sup> или 2.6% акватории озера (Зозуля и др., 1990). В районе сброса сточных вод Сясьского ЦБК в Волховской губе отмечаются «мертвые зоны». На неблагоприятную ситуацию в отдельных заливах озера указывают данные по биотестированию. В районе г. Питкяранта, Сортавальских шхер, Якимварском заливе и в устье р. Сясь пробы воды обладали острой токсичностью, здесь гибель дафний в течение 96 часов достигала 50-60%.

То, что озеро все еще продолжает испытывать антропогенное воздействие подтверждают данные по прозрачности воды (по диску Секки). В 1900-1960 гг. максимальная прозрачность воды достигала 6.0-6.5 м, в последние же годы лишь в отдельных районах максимальная прозрачность составляла 5.5 м, а в Волховском заливе - 1.9 м. Среднеголетние величины прозрачности воды, охватывающие всю акваторию озера, имеют хорошо выраженный тренд снижения этих величин (Naumenko, 2008). Продолжает возрастать, хотя и не так заметно как в середине прошлого века, общая минерализация воды. В среднем за период 1991-1998 гг. она составила 63.7 мг/л против

62.9 мг/л в среднем за 1977-1981 гг. (Расплетина и др., 2002).

Ладожское озеро располагает крупными рыбными запасами. Однако, несмотря на общее улучшение экологического состояния озера, после 1991 г. в нем наблюдается значительное сокращение общих уловов рыбы. Так, в 1996-2000 гг. средний улов рыбы составил 2.6 тыс.т, тогда как в 1986-1990 гг. - 6.1 тыс.т (Кудерский и др., 2000). Однако пока неясно, в какой мере это снижение вылова связано с колебаниями запасов промысловых рыб и в какой с таким явлением, как неполное отражение фактически полученных уловов в статистической отчетности.

Таким образом, к концу XX века в Ладожском озере произошли крупные экологические преобразования. Для решения непростых природоохранных проблем, накопившихся в озере и его бассейне, необходимо создание правовой базы по охране и восстановлению озерной экосистемы. Существующие общероссийские законы о природоохранной деятельности носят слишком общий характер и не отражают специфику озерных процессов и проблем, сложившихся в Ладожском озере. Разработка экологических мер, ограничивающих антропогенное воздействие на озеро, позволит улучшить среду обитания, комфортность и здоровье населения, проживающего в бассейне озера. Это особенно важно, поскольку озеро используется в качестве источника питьевой воды, и в первую очередь населением многомиллионного г. Санкт-Петербурга.

#### 4.11. ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО

Онежское озеро является вторым по величине озером Европы после Ладожского озера (табл. 4.4). Его координаты 60°55' - 62°55' с.ш., 34°14' - 36°30' в.д. Административно акватория принадлежит трем субъектам Российской Федерации – Республике Карелии (86.1%), Вологодской области (12.3%) и Ленинградской области (1.6%). Озеро издавна имеет многоплановое хозяйственное использование: промышленное, рыбохозяйственное, энергетическое, как источник водоснабжения и приемник сточных, ливневых и дренажных вод, рекреационное и т.д. Онежское озеро является важным водотранспортным узлом, связывающим бассейны Белого, Балтийского, Каспийского, Азовского и Черного морей. Плотность судоходных линий –

0.2 км/км<sup>2</sup>, выше, чем в Ладожском озере. Руслу рек Повенчанка и Вытегра обустроены в каналы (Беломоро-Балтийский и Волго- Балт).

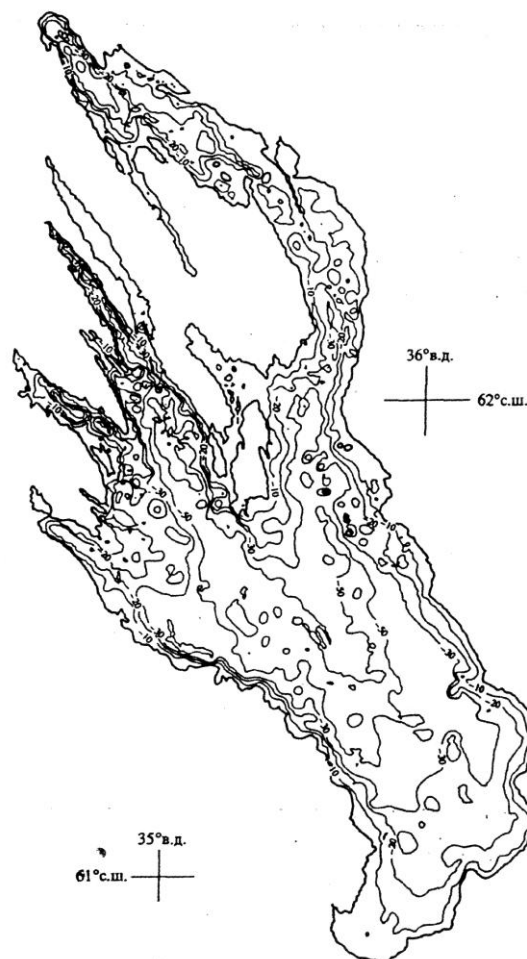
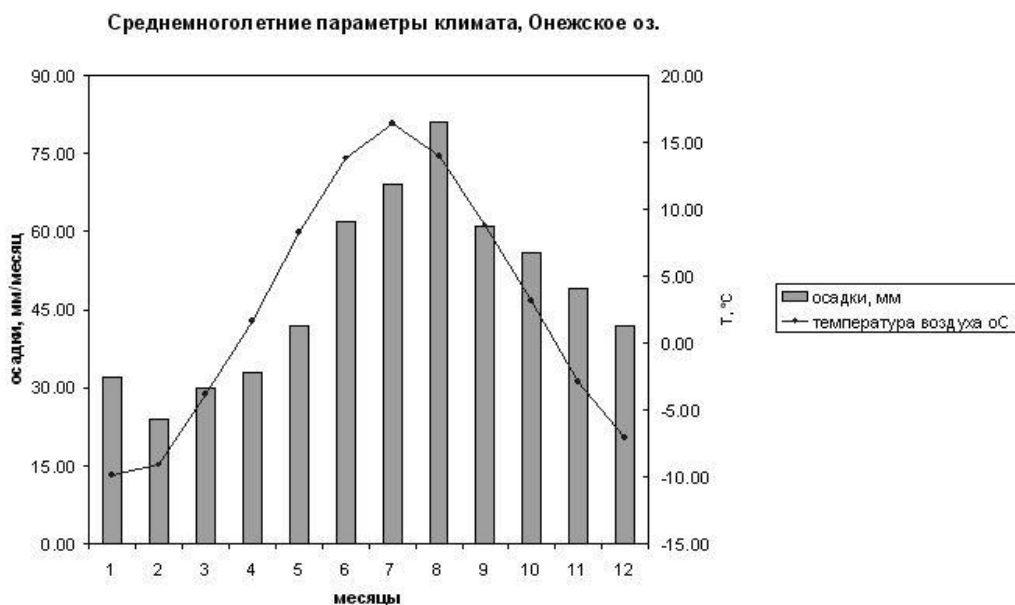


Рис. 4.29. Распределение глубин Онежского озера. Источник: Науменко, 2000

Котловина Онежского озера – доледниковая тектоническая впадина, расположенная в краевой части Балтийского щита, на стыке с Русской плитой. Она представляет собой сочетание двух блоков земной коры, имеющих разную геологическую историю. Формирование северной части котловины происходило в условиях преобладающих поднятий, южной – на фоне преобладающих погружений. Эти противонаправленные тектонические движения наблюдаются и в настоящее время. Северная часть котловины сложена кристаллическими породами (граниты, гнейсы). К югу от Петрозаводска эти породы сменяются кварцевыми и слюдяными песчаниками, песчано-глинистыми сланцами и конгломератами. Береговая линия северной части чрезвычайно из-



**Рис. 4.30.** Среднегоголетние параметры температуры воздуха и осадков, ст. Петрозаводск.

резана, имеет большое количество островов и многочисленные фьорды. Северный бассейн окружен холмами и скалами. Здесь формы рельефа сориентированы с СЗ на ЮВ, следуя направлению движения ледника в гляциальный период. Береговая линия южного бассейна менее изрезана, побережье низменное и часто покрыто болотом. В половодье берега заливаются. Различия в геологическом строении котловины и водосбора Онежского озера отражаются на морфометрии и химии его вод.

Морфометрия озера крайне сложная (рис. 4.29). Северная часть озера характеризуется ультра-сложным рельефом, глубокие впадины (90-100 м) сочетаются с грядовыми возвышенностями, глубины над которыми составляют всего 1-1.5 м. Южная часть имеет сравнительно ровное дно с обширным плато на глубинах 50-60 м. Постепенно глубины уменьшаются к югу. В целом для озера преобладают глубины от 20 до 60 м, на долю которых приходится 57% площади озера. Наибольшая часть объема — 85.5% заключена на участках с глубинами до 40 м. После строительства Верхне-Свирской ГЭС уровень озера поднялся на 30 см по сравнению с естественным. Диапазон ежегодных колебаний уровня - 0.65 м.

Общее число островов на озере составляет 1369, из которых наиболее крупными являются Клименецкий, Леликовский, Суйсари. На одном из островов находится всемирно извест-

ный ансамбль Кижи.

Водосбор озера расположен в пределах среднейтайги. По сравнению с бассейном Ладожского озера климат региона носит более выраженные черты континентальности, годовые температуры несколько ниже (рис. 4.30). Онежское озеро относится к холодноводным водоемам со слабым водообменом (12.5 лет). Озеро димиктическое (полное перемешивание весной и осенью). В самые теплые месяцы июнь-август среднемесячная температура в эпилимнионе составляет 14.3-19.0°C. Профундаль заполнена мощным слоем холодного гипolimниона с температурой воды круглый год близкой к 4°C. Перенос тепла по вертикали осуществляется только за счет ветрового перемешивания, действие которого распространяется обычно до глубины 20-25 м. В силу позднего и неполного по акватории замерзания, охлаждение всей массы воды в озере продолжается всю зиму и в суровые годы температура воды может понизиться до 2-1°C. Период ледостава по многолетним данным продолжается с 18 января по 18 мая. Фронт термобара обычно возникает за 3-5 суток до полного исчезновения льда в озере при переходе температуры воды через 4°C. Термобар делит озеро на две динамические области: стратифицированную и гомотермическую (Тихомиров, 1982). Термический бар в озере исчезает в третьей декаде июня.

В озеро впадает 1152 реки, из которых лишь 52

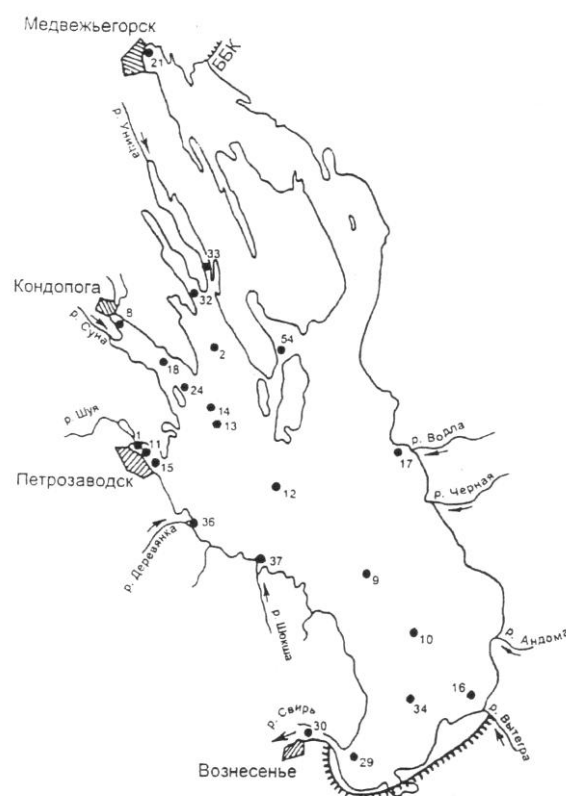


имеют длину более 10 км. Основные водотоки бассейна – реки Водла, Шуя, Суна, сток которых составляет около 60% от общего притока в озеро

Ресурсы речного стока в пределах Карелии оценены в 14.1 км<sup>3</sup> в средний по водности год (около 80% от общего стока в озеро) (Литвиненко и др., 1998). Площадь водосбора лишь в 5.8 раз больше площади самого озера. Природные ландшафты составляют 98% всей площади водосбора, где 71.5% представлены лесами (ель, береза, сосна, осина) и 19.1% - болотами. Сельскохозяйственные земли составляют лишь 1%, а земли населенных пунктов - 0.4%. Население – 499 тыс. чел.

По химическому составу воды Онежское озеро можно назвать уникальным водоемом, оно является одним из наименее минерализованных озер Мира. Общая минерализация воды в его различных частях составляет 39-46 мг/л. За последние 40-50 лет интенсивно выросло антропогенное воздействие на экосистему озера. Наибольший пресс испытывают его северо-западная и северная части, где расположены Петрозаводский, Кондопожский и Медвежьегорский промцентры (рис. 4.31) Здесь сосредоточено 80% населения и более 90% промышленного потенциала бассейна. Объем техногенных стоков в бассейне Онежского озера составляет около 315 млн м<sup>3</sup> в год, из них 46% приходится на производственно-хозяйственные стоки, 25% - ливневый сток и 16% - дренажно - мелиоративные воды. Поступление в озеро биогенных элементов значительно превышает сток их из озера. Современная биогенная нагрузка характеризуется поступлением общего фосфора – 810 т, общего азота – 17.0 тыс. т в год, а из озера с водами р. Свирь выносятся 280 т фосфора и 11800 т азота, то есть аккумулируется в озере 68% фосфора и 31% азота. В отличие от Ладожского озера, в котором из-за интенсивной циркуляции водных масс и менее сложной морфометрии поступающие биогенные элементы распространяются по всей акватории озера, в Онежском озере поступающие с притоками, хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками биогенные элементы аккумулируются в основном в отдельных районах (заливы, губы, прибрежные участки). Это является причиной того, что основная водная масса озера в настоящее время все еще характеризуется невысоким содержанием биогенных элементов и сохраняет свой

олиготрофный статус (Сабылина, 1999). В настоящее время кислородный режим открытого Онега сохраняет все черты, свойственные малопродуктивным холодноводным водоемам. Воды здесь слабо окрашены (20-30 град.). Средняя концентрация кислорода составляет 11.0 мг/л (95% насыщения), что не ниже, чем в 1980-е годы (Пирожкова, 1990). Перманганатная окисляемость воды приблизительно равна 6 мгО/л. Содержание общего фосфора не превышает 10-12 мкг/л, а общего азота - 650-720 мкг/л. Прозрачность воды – 3.5-3.7 м по диску Секки.



**Рис. 4.31.** Источники загрязнения Онежского озера. Источник: Сабылина, 1999.

Одним из наиболее загрязненных участков озера является Кондопожская губа. Химический состав ее воды под влиянием сбрасываемых в течение 50 лет сточных вод Кондопожского ЦБК, в том числе 40 лет без очистных сооружений, существенно изменился. За последние 10-15 лет загрязнение воды в губе специфическими химическими веществами уменьшилось, в тоже время заметно усилилось эвтрофирование, обусловленное резким возрастанием выноса со сточными водами общего фосфора (в 3-6 раз) и азота (в 15-30 раз). На удалении 10 км от места рассеивающего

выпуска сточных вод, оголовков которого расположен на глубине 5-7 м, заметна дифференциация потока. В поверхностном слое воды влияние сточных вод не прослеживается: практически все химические показатели близки к характерным для вод Онежского озера, тогда как с 20-метровой изобаты отмечается увеличение значений всех параметров с максимумом в 30-метровом горизонте, где концентрация лигносульфонатов возросла в 61 раз, общего фосфора было в 2-3 раза выше, а насыщение кислородом на 30-40% ниже, чем в поверхностном и придонном слоях. По многолетним данным, полученным в 1989-1997 гг., химический состав воды Кондопожской губы характеризуется следующими среднегодовыми показателями: перманганатная окисляемость – 9.2 мг О/л, насыщение воды кислородом – 85%, содержание общего фосфора – 18 мкг/л, общего азота -750 мкг/л.

Основным источником поступления органических, взвешенных и загрязняющих веществ в Центральное Онего является Петрозаводский промцентр, расположенный на побережье Петрозаводской губы, которая испытывает еще большую антропогенную и природную нагрузку, чем Кондопожская губа. По объему сброса сточных вод Петрозаводский и Кондопожский промцентры приблизительно равны, однако со сточными водами в целом в Петрозаводскую губу поступает общего фосфора и азота соответственно в 2.0 и 6.4 раза больше, чем в Кондопожскую. Поскольку Петрозаводская губа выделяется высокой проточностью и открытостью, на нее оказывают благоприятное влияние озерные воды высокого качества. Основные изменения в Петрозаводской губе коснулись биогенных элементов, особенно общего фосфора. Так, в вершинной части губы в 1960-1970 гг. его концентрация составляла 22 мкг/л, в 1988-1996 гг. -31 мкг/л, а во внешней части - соответственно 10 и 15 мкг/л (Сабылина, 1999, Сабылина, Мартынова, 2003).

Воды Центрального, Большого и Малого Онего, Повенецкого залива сохранили до настоящего времени олиготрофный характер и достаточно высокое качество. В губах развитие эвтрофирования идет быстрее, что подтверждается данными гидробиологических исследований. Фитопланктон Онежского озера, в основе своей представленный типичной североальпийской флорой, отличается большим видовым разнообразием, обычным в глубоководных олиготрофных озерах. Руководящим

комплексом водорослей являются диатомовые, постоянные доминанты онежских вод (Вислянская, 1990,1999, Петрова, 1990). Весной фитопланктон был представлен в основном *Melosira islandica*, *M.italica*, *M. distans* var. *alpigena*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*. В летний период встречались золотистые - *Dinobryon divergens*, *D. Bawaricum*, синезеленые - *Sphaerocystis schroeteri*. В последние годы увеличивается роль *Aulacosira islandica subsp. helvetica*, максимальные количественные показатели которой были отмечены в июне 1993 г. в Кондопожской губе, где ее численность стала в шесть раз превышать ее максимум в более ранние годы. Наименьшая биомасса фитопланктона отмечается в Большом Онего – 0.80-2.37 (1.3) г/м<sup>3</sup>. В Кондопожской губе биомасса фитопланктона составляла 0.54-17.9 (4.4) г/м<sup>3</sup>, в Петрозаводской губе -0.19-9.32 (2.3) г/м<sup>3</sup> (Вислянская, 1999). Концентрация хлорофилла «а» и интенсивность первичной продукции также указывают на развитие процессов эвтрофирования в губах озера. Концентрация хлорофилла «а» в июне-августе на поверхности в центральных районах озера составляет 1.4-5.8 мг/м<sup>3</sup>. В то же время в Кондопожской губе на поверхности в 2-х км от выпуска - 16.0 мг/м<sup>3</sup>. Первичная продукция в открытом районе равна 112 мг С/м<sup>2</sup> в сутки, а в вершине Кондопожской губы – до 395 мг С/м<sup>2</sup> в сутки (данные 1993).

Высшая водная растительность озера представлена воздушно-водными растениями – тростник, камыш озерный, хвощ речной; растениями с плавающими листьями – кубышка, горец земноводный; погруженными растениями – рдесты, шелковник. В Кондопожской губе в районе поступления стоков ЦБК исчезают заросли тростника и появляются растения с плавающими листьями, более устойчивые к загрязнению (Клюкина, 1986).

Лимническая неоднородность Онежского озера обеспечивает специфику распределения зоопланктона по его акватории. По видовому составу он довольно однороден, отличаясь большим разнообразием за счет литорального комплекса в губах. Доминирующий комплекс в озере представлен небольшим числом видов, которые составляют основу биомассы сообщества. Максимум биомассы в августе создавали ветвистоусые рачки – самый массовый вид летнего планктона *Daphnia cristata* и *Bosmina obt. lacustris*, из веслоногих рачков - *Eudiaptomus gracilis* и мелкие циклопы

*Mesocyclops leuckarti*, *M. oithonoides*, а на глубоководных участках - *Limnocalanus grimaldii macrurus*. Осенью и весной в сообществе увеличивается роль коловраток. Биомасса в среднем за вегетационный сезон колебалась в губах от 0.1 до 0.33 г/м<sup>3</sup>, достигая максимальной величины (1.2 г/м<sup>3</sup>) в верхней части Кондопожской губы. В глубоководных районах Большого Онего эти величины не превышали 0.05-0.07 г/м<sup>3</sup>. Летняя биомасса в разные годы в заливе Большое Онего составляла 0.1-0.2, в Петрозаводской губе - 0.3-0.6, а в Кондопожской губе - 1.3-3.5 г/м<sup>3</sup> (Куликова, Сярки, 1999).

Современное состояние донных биоценозов сложилось в результате длительного взаимодействия естественных и антропогенных факторов, что обуславливает неравномерное распределение донного населения в озере. Наибольшее их количество сосредоточено в прибрежном мелководье. По мере увеличения глубины количество видов и плотность животных снижается и соответственно упрощается структура ценозов (Полякова, 1999). В профундальной зоне Центрального плеса и Большого Онего макрозообентос представлен традиционно бедным комплексом беспозвоночных. В него входят реликтовые ракообразные (*Pontoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa*, *Mysis relicta* и крайне редко *Gammaracanthus lacustris*), олигохеты, в небольшом количестве двустворчатые моллюски и хирономиды (*Trissocladius parataticus*, *Paracladopelma camplolabis*, *Lauterbornia coracina*, *Protanypus*). Более 90% биомассы животных приходится на амфипод и олигохет. Количественные показатели бентоса в этом районе возросли по сравнению с 1977-1979 гг., когда их численность и биомасса не превышали соответственно 0.6 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 1.3 г/м<sup>2</sup>, но уже в 1989-1993 гг. средняя биомасса за сезон не опускалась ниже 3 г/м<sup>2</sup>. Значительно более высокими величинами донное население характеризуется в загрязняемых губах Петрозаводской и Кондопожской. В современных условиях донные сообщества Петрозаводской губы выделяются максимальными для озера величинами численности и биомассы, которые в центральной части губы в 1988-1993 гг. составляли, соответственно, 8.3 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 24.2 г/м<sup>2</sup>, в последующие годы такие высокие показатели не регистрировались. Поступление неочищенных сточных вод ЦБК в Кондопожскую губу привело к покрытию отходами

значительных площадей дна. Этот участок на протяжении длительного периода остается «мертвой» зоной для бентоса. На участках, где неблагоприятные воздействия на бентос несколько ослаблены, создаются условия для массового развития тубифицид, личинок хирономид и прокладиус. В 1995 г. здесь максимальные количественные значения бентоса составляли: биомасса - 14.6 г/м<sup>2</sup>, численность - 11.0 тыс. экз./м<sup>2</sup>.

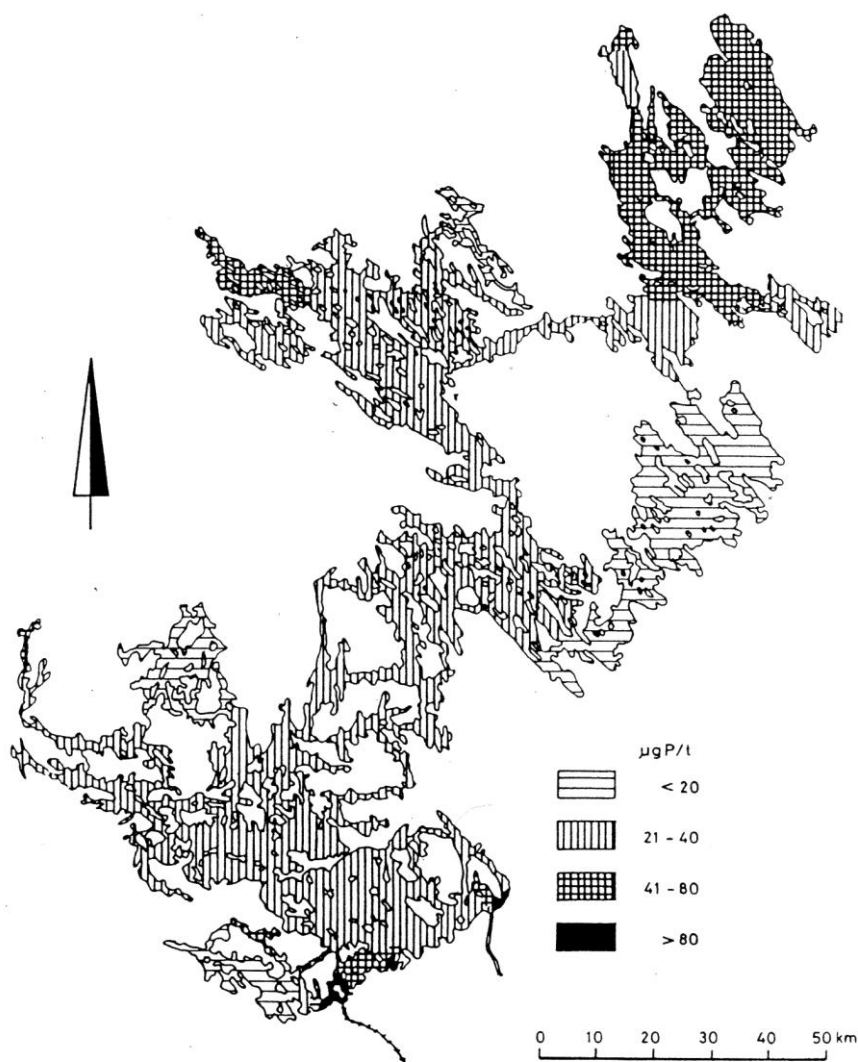
Изменения экологической ситуации в озере затронули рыбное население. Как и в Ладожском озере, резко сократилась численность рыб с длительным жизненным циклом (лосось, озерная форель, паляя, сиги, судак и др.). В составе рыбного населения увеличился удельный вес рыб с коротким жизненным циклом - корюшки и ряпушки. Улов этих рыб сейчас составляет 80.9% общего вылова. В 1990 г. рыбы было выловлено 2.1 тыс. т в год.

Антропогенное влияние на озеро четко отразилось на составе донных отложений. В илах северной части центрального района озера, Петрозаводской губы, в районе Большого Онего увеличилось содержание органического вещества, фосфора (общего, минерального), азота, произошли изменения в диатомовом комплексе. Донные отложения Кондопожской губы в настоящее время загрязнены практически по всей акватории. Анаэробные процессы, происходящие в толще отложений губы, создают условия для вторичного загрязнения.

Несмотря на высокое качество воды Онежского озера, вызывают тревогу некоторые заливы, подвергающиеся антропогенному воздействию. Контроль за рациональным использованием озера и его охраной осуществляется Комитетом охраны окружающей среды Республики Карелия. Кроме того, на озере ведется мониторинг состояния его экосистемы.

#### 4.12. ОЗЕРО САЙМА

Озеро Сайма расположено в юго-восточной Финляндии и является самым большим и самым сложным озером в стране (табл. 4.4). Его координаты - 61°03'-62°37' с.ш. и 27°16'-30°10' в.д. Происхождение озера - ледниково-тектоническое. Оз. Сайма представляет собой огромную систему соединенных между собой протоками вытянутых озер. Из-за чрезвычайной изрезанности берегов оно отличается



**Рис. 4.32.** Распределение концентрации общего фосфора в воде о. Сайма. Источник: Каурри et al., 1983.

огромной длиной береговой линии – 14850 км. На озере много островов - около 13710, на многих из них есть постоянные поселения. Из наиболее крупных островов следует выделить следующие: Хуриссало (Hurissalo) площадью 174 км<sup>2</sup>, Парталансаари (Partalansaari) площадью 170 км<sup>2</sup>, Вильякансаари (Viljakansaari) площадью 115 км<sup>2</sup> (рис. 4.32). Озеро расположено на Балтийском кристаллическом щите, на его побережье преобладают скалы, камни и небольшие глинистые и иловые участки.

Максимальная глубина озера, 85.3 м, была определена для периода 1961-1990 гг. Некоторые озера, которые входят в систему озера Сайма, достаточно глубокие и их максимальные глубины составляют в оз. Паасивеси (Paasivesi) – 74 м, в оз. Петранселка (Petranseika) – 72 м, оз. Луотери (Luoteri) – 70 м, оз. Пихаселка

(Pyhaselka) – 68 м, оз. Салонселка (Salonseika) – 67 м. Однако территория всего озера с глубинами более 50 м занимает небольшую площадь – всего 2500 га (0.5 % от общей площади).

Сток из озера осуществляется через р. Вуокса (площадь ее водосбора 65500 км<sup>2</sup>, шестая часть которого находится на территории России), впадающую в Ладожское озеро. Из-за строительства плотин ГЭС на р. Вуоксе, оз. Сайма зарегулировано. В настоящее время колебания уровня озера составляет 70 см. Воды оз. Сайма поступают также в Выборгский залив Балтийского моря через Сайминский канал, который был построен в 1850 г. В настоящее время его длина составляет 45 км (почти половина в России), перепад высот в 76 м преодолевается с помощью 8 шлюзов. Безопасная скорость потока в канале - 40 м<sup>3</sup>/сек.,

хоть она может достигать 250 м<sup>3</sup>/сек. Средний сток из озера составляет 596 м<sup>3</sup> в секунду (пределы колебаний 1150-56 м<sup>3</sup>/сек.) (Saimaa..., 1999).

Температурный режим озера достаточно своеобразен, что связано с его большой площадью, вытянутой с севера на юг, и многочисленными заливами. После вскрытия на озере формируется термический бар, то-есть температурный фронт с температурой воды 4°C от поверхности до дна. Такой барьер может существовать две-три недели, деля озеро на две части: теплоактивную с температурой до 15°C и теплоинертную с температурой в открытом озере до 2°C. Средняя температура для эпилимниона всего озера достигает максимальных значений около 10 августа. На глубине 60-80 м максимальная температура 8-10°C отмечена только в октябре. По многолетним данным в среднем озеро замерзает 15 декабря, а освобождается ото льда 2 мая (пределы 5 апреля-27 мая). Озеро димиктическое.

Озеро характеризуется повышенным уровнем антропогенного воздействия. Изменения качества его воды обусловлены сбросами сточных вод, осуществляемыми пятью заводами по выпуску целлюлозы, бумаги и картона, примерно таким же числом деревообрабатывающих предприятий (включая производство фанеры), металлургическим, химическими (четыре), горнодобывающими (два) производствами, пищевыми предприятиями. В озерной системе интенсивно развито судоходство (плотность судоходных линий – 0.1 км/км<sup>2</sup>), обеспечивающее, в частности, транспортировку больших объемов древесины. В оз Сайма также сбрасываются сточные воды расположенных здесь городов (Йоенсуу, Савонлинна, Варкаус, Миккели, Лаппеенранта и др.) и населенных пунктов. Наиболее загрязненными районами озера являются южный, северный и северо-западный. Со сточными водами поступает широкий спектр загрязняющих компонентов, включая органические вещества, минеральные кислоты и щелочи, формалин, метанол и др. Существенное значение имеет поступление фосфора, вызывающего процессы эвтрофирования. В начале 1980-х годов концентрация общего фосфора в наиболее загрязняемом южном районе достигала 80 мкг/л и выше, в других загрязняемых районах на севере и северо-западе – 41-80 мкг/л, а в относительно чистых – менее 20 мкг/л (Kauppi et al., 1985). В 1992-1995 гг. сброс

загрязняющих веществ сократился за счет перехода на новые методы очистки стоков и повторного использования технологической воды. Так, в южную часть озера максимальное поступление общего фосфора в 1988 г. составляло 490 кг Р в день, а в 1996 г оно уже не превышало 100 кг Р в день. Точно также изменялось поступление общего азота за этот период – от 2800 до 150 кг в день (Laine, 1997).

В настоящее время установлено, что на 61.5% площади озера качество воды очень хорошее, на 31.6% - хорошее, на 6.2% - удовлетворительное и только на 0.5% - плохое. Вода плохого качества находится на территории 2500 га, из них 26 га около промышленных районов (район городов Kaukas и Kaukoraа), где качество воды оценивается как очень плохое (Saimaa... 1999). В открытой части озера (Большая Сайма) качество воды оценивается как хорошее и даже очень хорошее: перманганатная окисляемость составляет 6.5-7.1 мгО/л, насыщение воды кислородом – 80-90%, концентрация общего фосфора 8-12 мкг/л, концентрация общего азота 459-500 мкг/л. В 1990-е годы в некоторых южных районах, где качество воды ранее оценивалось как плохое, воды перешли в разряд удовлетворительных, перманганатная окисляемость уменьшилась с 16 до 10.7 мгО/л, концентрация общего фосфора – с 68 до 36 мкг/л, насыщение воды кислородом увеличилось с 50 до 60% (Saukkonen, 1997). Значительно улучшилось экологическое состояние озер Пюхаселка (Pyhaselka) и Хаукивеси (Haukivesi) – двух крупных озер на севере Саймы. В начале 1980-х концентрация общего фосфора в оз. Пюхасерка составляла 41-80 мкг/л, а в 1992 г. - 11-20 мкг/л, в настоящее время прозрачность его воды -1.6-2.4, концентрация общего азота – 394- 533 мкг/л, и качество его воды оценивают как хорошее, за исключением районов около крупных городов (например, г. Йоенсуу). То же самое наблюдается в оз. Хаукивеси, в котором за этот же промежуток времени концентрация фосфора уменьшилась с 21-40 мкг/л до 8-34 мкг/л, качество воды озера оценивают даже как очень хорошее, за исключением района, примыкающего к промышленному центру Варкаус (Varkaus) (Karjalainen et. al., 1996).

В районах, не испытывающих антропогенное влияние, биомасса фитопланктона колеблется в пределах от 0.12 до 0.66 (среднее 0.31) мг/л, а концентрация хлорофилла «а» -1.0-3.5 (среднее 2.0) мкг/л. Эти показатели, как и показатели по

биогенным элементом, характеризуют основной район озера как олиготрофный. В районах, находящихся вблизи промышленных центров, биомасса фитопланктона увеличивается до 1-3 мг/л, в отдельных районах даже до 10 мг/л. Содержание хлорофилла «а» увеличивается до 4.5 и даже 6 мкг/л (Holopainen et al., 1993, Saimaa..., 1999). Эти районы приближаются к эвтрофному типу. В различных районах озера в основном доминируют зеленые и криптофитовые водоросли. Из синезеленых наиболее часто в загрязненных участках озера встречается *Aphanizomenon*, который иногда обнаруживается и в более благополучных районах. Кроме того, из синезеленых встречаются *Anabaena*, *Woronichinia*, *Microcystis*. Тем не менее, количественные показатели синезеленых невелики, и даже когда они находятся в максимуме их доля в общей биомассе водорослей не превышает пятую часть. Золотистые водоросли типичны для участков озера, не подвергающихся загрязнению, тогда как в загрязненных участках обычной является диатомовая водоросль *Asterionella*. Из динофлагеллят наиболее часто встречаются *Peridinium* и *Ceratium* (Saimaa..., 1999).

Поскольку берега озера в основном каменистые и песчаные, районов занятых высшей водной растительности мало, они расположены в основном в защищенных заливах, где встречаются кубышка, тростник, пузырчатка, осока, уруть.

В оз. Сайма идентифицировано около двух сотен видов зоопланктона, включая 60 видов коловраток, 20 – клadoцер, 15 – копепод. Наиболее подробно зоопланктон изучался на озерах Пюхаселка и Хаукивеси. На большей части этих озер доминировали *Daphnia cristata*, *Eudiaptomus gracilis*, *Eudiaptomus graciloides*, *Bosmina longispina* и *B. coregoni*, а в тех районах, которые подвергались значительному антропогенному влиянию со стороны городов Йоенсуу и Варкаус доминировали *Mesocyclops*, *Thermocyclops*, *Bosmina*, *Rotatoria*. Виды *Eurytemora lacustris*, *Limnocalanus macrurus* и *Heterocope appendiculata* в основном обитают в пелагической зоне. Общая биомасса зоопланктона в открытой воде оз. Пюхаселка составляла 7-9 г/м<sup>2</sup>, а в оз. Хаукивеси немногим больше.

Бентосные организмы в основном представлены гастроподами, двусторчатками моллюсками, олигохетами, хирономидами и ракооб-

разными. Реликтовые амфиподы *Pallasea quadrispinosa* и *Monoporeia affinis* обитают в глубоководных и холодноводных районах. Наибольшая плотность зоопланктона в прибрежных районах на глубине 1-3 м в зарослях высшей водной растительности.

В настоящее время в оз. Сайма, также как в Ладожском и Онежском озерах, резко сократилась численность рыб с длительным жизненным циклом (лосось, озерная форель, паляя, сиги, судак и др.), что обусловлено гидростроительством и загрязнением нерестилищ стоками предприятий. В составе рыбного населения увеличился удельный вес рыб с коротким жизненным циклом. В первую очередь это ряпушка – наиболее ценный вид для коммерческого рыболовства в оз. Сайма, на нее приходится 47.4 % общего улова рыбы (Toivonen, 1985). Встречающийся в озере лосось (*Salmo salar m. sebago Girard*) является единственным пресноводным лососем, жившим в Финляндии. Помимо Финляндии, естественные места его обитания находятся только в Швеции. Сейчас разрабатываются проекты по восстановлению и охране популяции лосося (Кайемаа, 2003). Эндемическим реликтом озера является нерпа, которая до 1956 года являлась объектом охоты, как основного потребителя ряпушки. Сейчас установлено, что нерпа потребляет только незначительную часть продукции ряпушки. В связи с этим разрабатываются меры по защите нерпы, и поставлена цель довести ее численность до 400 особей (Аувинен и др., 2003).

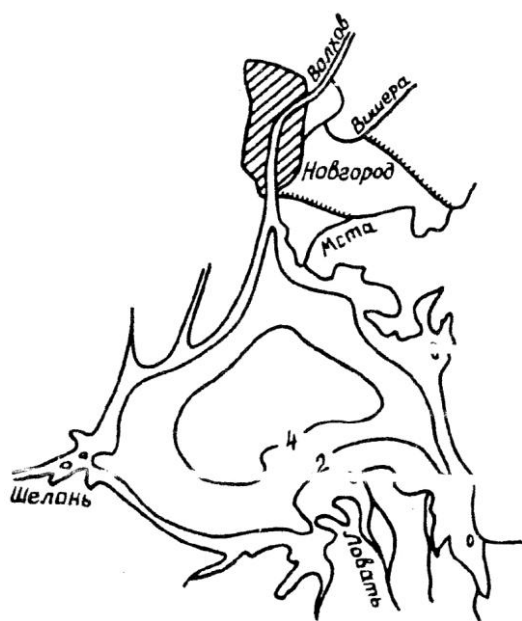
#### 4.13. ОЗЕРО ИЛЬМЕНЬ

Озеро Ильмень расположено в России, на юго-западе Новгородской области. Оно находится в центре обширной Приильменской низины, его координаты 58°00'-58°29' с.ш., 30°54'-31°44' в.д. Озеро Ильмень и все Приильменье является уникальной территорией, которую можно назвать колыбелью русского этноса и русской государственности. Почти вся территория Приильменья представляет собой плоскую равнину, находящуюся на абсолютных отметках 20-60 м. Самое низкое положение занимает дно долины р. Волхов и самого озера. Оз. Ильмень имеет ледниковое происхождение, его котловина представляет собой прогиб в девонских отложениях, более чем на 90% заполненный осадочными породами. Оно находится на месте огромного древнего Приильменского



водоема, границы которого на северо-западе доходили до современного водораздела рек Волховского и Невского бассейнов.

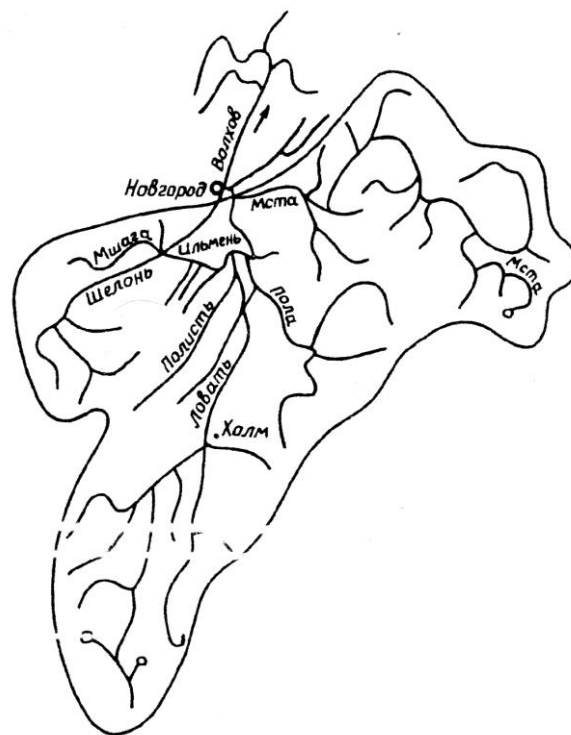
Современный Ильмень – мелководное озеро с плоским дном, сложенным 9-10-метровой толщиной ила (табл 4.4, рис. 4.33). Размеры и форма озера сильно изменяются вследствие значительных внутригодовых и межгодовых колебаний уровня его вод в условиях плоской низменной поймы. При высоких уровнях все берега озера, кроме северо-западного и юго-западного, затопляются на протяжении 2-15 км (Экосистема озера Ильмень..., 1997). В начале прошлого века Ильмень принимали за разлив рек Ловать, Пола, Мста, Шелонь и лишь в 1990-х гг. было неопровержимо доказано, что Ильмень – озеро (рис. 4.34).



**Рис. 4.33.** Карта глубин оз. Ильмень. Источник: Атлас Новгородская область, 1982

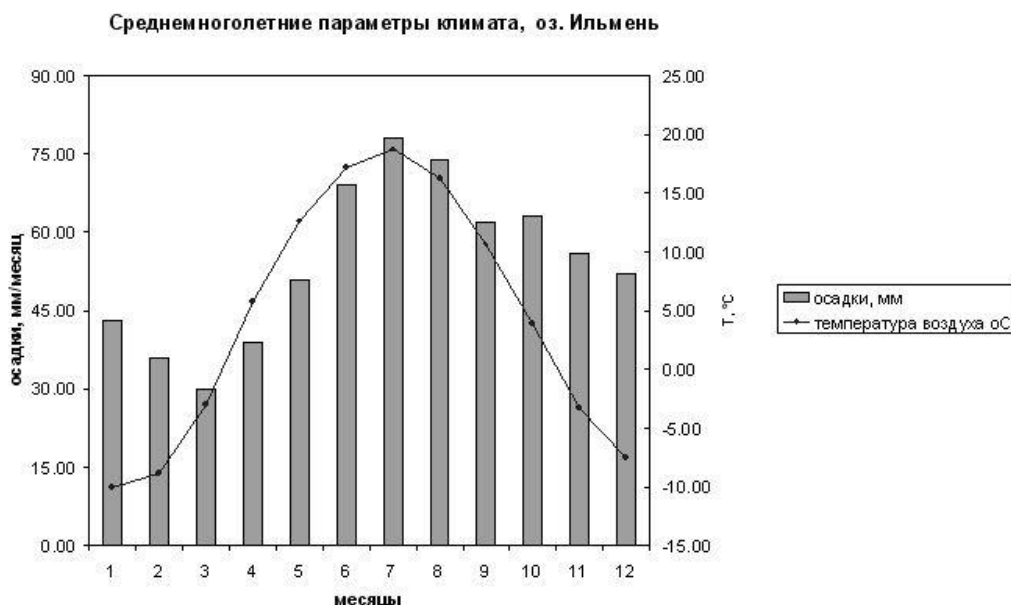
Для бассейна озера наиболее типичны ландшафты поймы, особенно значительную площадь пойма занимает в северной, восточной и юго-восточной частях побережья, большие участки расположены также в дельтах рек Мста и Ловать. Поймы используются как пашни, сенокосы и пастбища. Ни одно озеро в Европе не обладает столь обширной поймой, как Ильмень. Северная и северо-восточная части водосбора относятся к южной тайге, вся остальная часть – это смешанные леса. В среднем леса занимают 40% всей территории. Нельзя не отметить красные известковые скалы (Ильменский глинт) на юго-западном побере-

жье озера. Ильменский глинт представляет собой уникальное творение природы, создающее полную иллюзию морского берега (Экосистема озера Ильмень ..., 1997).



**Рис. 4.34.** Схема бассейна оз. Ильмень. Источник: «Экосистема оз.Ильмень...», 1997.

В озеро впадают 19 рек длиной более 10 км. Из всех рек, впадающих в озеро, самая длинная р.Ловать, ее длина от истока до устья составляет 530 км. Кроме Ловати с юга в Ильмень впадают реки Пола (268 км длиной) и Полость. Вместе с Ловатью они образуют общую обширную дельту, площадью около 400 км<sup>2</sup>. Река Мста длиной 445 км при впадении в озеро также образует обширную дельту, площадь которой составляет 170 км<sup>2</sup>. Недалеко от устья к р. Мста подходят Вишерский канал, соединяющий Мсту и Вишеру и Сиверсов канал, соединяющий Мсту с Волховым. Из рек, впадающих в Ильмень с запада, наиболее крупной является р. Шелонь с хорошо разработанной долиной, ее длина составляет 248 км. В устье Шелони развита обширная дельта, в районе которой ширина разлива достигает 3-5 км. В бассейне Шелони часто встречаются минеральные источники. Сток из озера осуществляется в Ладожское озеро через реку Волхов, длина которой составляет 228 км. У истока реки находится город Великий Новгород, крупный промышленный центр с населением



**Рис. 4.35.** Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Новгород.

215 тыс. человек. Водный и уровень режим р. Волхов определяется режимами оз. Ильмень, работой Волховской ГЭС и Ладожским озером. Годовой приток речных вод в среднем за период 1953-1977 гг. составлял 14.2, а сток из озера – 14.4 км<sup>3</sup> (Кириллова, 1984).

Наиболее характерными особенностями озера, кроме значительного варьирования площади, являются высокий коэффициент условного водообмена (смена воды происходит более 4 раз за год) и высокая активность озерных вод под влиянием ветра, при которой наблюдается взмучивание ила со дна озера.

Бассейн озера расположен в пределах южной тайги. Климат региона более мягкий, чем у остальных озер системы (рис. 4.35). Весной воды в мелководном озере прогреваются быстро: уже в мае температура воздуха и воды сближаются. С июня до поздней осени среднесуточная температура воды обычно выше, чем воздуха (максимальные 19 и 18° С соответственно). Редко и только в штилевую погоду в озере устанавливается стратификация температуры, обычно же характерно равномерное распределение температуры воды по глубине. С конца ноября до середины апреля озеро находится подо льдом.

Химический состав вод притоков очень различен, что определяет широкий разброс химических показателей по акватории озера. Средняя прозрачность воды по диску Секки

составляет 0.2-1.0 м. Существенной особенностью озера является недонасыщенность воды кислородом. С июня по август концентрация кислорода составляет 7.9 мг/л (95% насыщения). Кислородный минимум наблюдается подо льдом во всей толще воды в апреле – 6.9 мг/л (48 % насыщения), в придонном слое даже до 4.3 мг/л. Концентрация общего фосфора изменяется в пределах 0.11-0.02 мг/л, концентрация общего азота – 1.27-0.16 мг/л, уже эти показатели указывают, что трофический уровень озера различается по акватории. Содержание органического углерода изменяется в пределах 1.5-39.0 мг С/л (Смирнова, Гулин, 1986, Экосистема озера Ильмень ..., 1997).

Благодаря хозяйственной деятельности на водосборах рек Мста, Ловать, Шелонь, Пола и др. качество воды озера существенно меняется. Так, постепенно происходит увеличение минерализации воды за счет использования артезианских вод, внесения минеральных удобрений на поля и загрязнения притоков промышленными сточными водами. В 1952-1978 гг. величина общей минерализации составляла 128.4-167.7, при этом максимальные величины достигали 303 мг/л (Смирнова, 1874, Природные ресурсы..., 1984). В озере превышение ПДК по нефтепродуктам - 4.6-5.0 раз, меди – в 4.6-5.1 раза, марганцу – в 6.0-6.7 раз, фенолам в отдельные месяцы в 20 раз. Пестициды отмечаются в 25-26 % проб. В воде содержится большое количество органических

веществ (Фрумин и др., 1995). В грунтах озера присутствуют соли тяжелых металлов, причем концентрация хрома в 1.2-5.0 раз превышает геохимический фон, что обуславливается влиянием промышленных сбросов предприятий г. В. Новгород. В грунтах также обнаружены пестициды. По общей оценке качества воды оз. Ильмень может быть отнесено к классу «умеренно загрязненных».

Поскольку озеро богато рыбой, гидробиологические исследования начали проводиться с конца XIX века. Общее число идентифицированных в озере видов и форм водорослей возросло с 18 в 1902 г. до 445 в 1980-х гг. (Авинская, 1987). Представители рода диатомовых *Aulacoseira*, *Asterionella* и *Stephanodiscus* составляют основу биомассы фитопланктона на протяжении всех сезонов. В мае 1986 г. они составляли более 90 % от общей биомассы 4 мг/л. Наряду с диатомовыми в весеннем комплексе присутствовали пирифитовые, золотистые, эвгленовые и зеленые водоросли. Летом представители родов из отдела синезеленых *Aphanizomenon*, *Anabaena* и *Microcystis* определяют основу численности фитопланктона. Кроме того, в этот период в озере достаточно обильно вегетируют зеленые из рода *Pediastrum* и из динофитовых - *Ceratium herudinella*. В июле доля диатомовых снижается, биомасса синезеленых в этот период составляла 22% от общей биомассы. Пик обилия фитопланктона обычно приходится на весну (до 10 мг/л), летом наблюдается некоторая депрессия (1-2.5 мг/л). В осенний период при общей биомассе 4.5-5.0 мг/л биомасса диатомовых составляет 97%. На основании проведенных исследований озеро было отнесено к мезотрофному типу (Авинская, 1987, Лаврентьева, 2003).

Высшая водная растительность в озере развита хорошо, она занимает 8.4 % площади водоема (100 км<sup>2</sup>). Всего определено 32 вида растений, наиболее распространены 4 вида: рдест пронзеннолистный, рдест блестящий, камыш озерный и горец земноводный. Заливы зарастают довольно однообразно: центральные части обычно занимают разреженные группировки рдеста пронзеннолистного, а к берегам сомкнутость сообщества возрастает. Само побережье занимают, как правило, сообщества камыша озерного (Доценко, Распопов, 1983).

Наибольшее число видов зоопланктона, 86, было установлено М.Б.Эггерт (1961), и оста-

ется неизменным до настоящего времени. В начале мая преобладали ветвистоусые рачки, биомасса которых составляла 52.3% от общей биомассы. Начиная со второй декады мая, биомасса *Cyclopoida* превышала 40% общей биомассы. В майском зоопланктоне доминировали *Mesocyclops*, *Daphnia*. В летнем зоопланктоне видовое разнообразие сокращалось. В сентябре по биомассе доминировали ветвистоусые (64.6% от общей биомассы). Уровень развития зоопланктона на протяжении 90 лет (1900-е – 1990-е гг.) был сравнительно постоянен: от 1.0 до 1.5 г/м<sup>3</sup> в 1902г., от 1.5 до 4.5 г/м<sup>3</sup> в 1969-1971 гг. и от 0.54 до 1.5 г/м<sup>3</sup> в 1995-1997 гг. (Мицкевич, Волхонская, 1999).

Донная фауна в качественном отношении довольно однообразна и представлена 101 видом. Бентос озера исследовался в основном как кормовая база ихтиоценоза, поэтому главное внимание уделялось кормовому бентосу – сфероидам, олигохетам и хирономидам. Некормовой бентос представлен крупными двустворчатыми моллюсками: беззубками, перловицами, дрейссенами, брюхоногими улитками. По биомассе моллюски почти на порядок превышали некормовой бентос. Анализ межгодовых изменений общей биомассы бентоса в период с 1920-х до 1990-х годов выявил тенденцию ее сокращения за счет снижения удельного веса в ней моллюсков, при относительно стабильном видовом составе. Летом общая биомасса зообентоса снижалась с 51-67.3 г/м<sup>2</sup> в 1923-1937 гг. до 8.5 г/м<sup>2</sup> в 1968-1972 гг., осенью она снижалась с 120.0-485.0 г/м<sup>2</sup> в 1923-1937гг. до 4.9-9.8 г/м<sup>2</sup> в 1968-1999 гг. (Лаврентьева, 2003). По запасам кормового бентоса оз. Ильмень относится к классу высококормных водоемов. В настоящее время в озере успешно акклиматизировались нектобентические организмы, способные активно перемещаться и обитать в районах с переменным гидрологическим режимом - понто-каспийский *Paramysis intermedia*, дальневосточный *Neomysis awatchensis* и бокоплав байкальского комплекса *Gmelinoides fasciatus*. Однако их доля в количественных показателях бентоса не превышает 1-2% (Мицкевич, Андреева, 2003).

В озере обитает около 26 видов рыб. Из них охраняемые виды – лещ, судак, щука, а также синец, снеток, плотва, окунь, густера, язь, укляя, налим и др. Среднегодовой вылов рыбы в озере в 1984-1992 гг. составлял 3141 т, в 1993-2001 гг. - 1461 т. Главным промысловым видом сейчас является лещ, в 1993-2001 гг. его

средний вылов составил 436 т в год (Асанов, 2003). Для восстановления рыбных запасов необходимо снизить промысловую нагрузку на озеро.

Несомненно, сохранение уникальной экосистемы оз. Ильмень и его поймы – задача чрезвычайно важная. Богатство рыбного населения озера, плодородные и высокопродуктивные пойменные луга, обилие исторических памятников, бальнеологические курорты (г. Старая Русса) – все это требует не только сохранения озера как достояния России, но также его рационального использования и дальнейшего развития.

#### 4.14. ЧУДСКО-ПСКОВСКИЙ ОЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС

Чудско-Псковское озеро (или озерный комплекс) - четвертый по величине пресноводный водоем Европы с площадью водного зеркала 3555 км<sup>2</sup> (рис. 4.36). Он расположен на границе между Россией и Эстонией: 1985 км<sup>2</sup> его водной площади относится к России и 1570 км<sup>2</sup> - к Эстонии. Координаты - 57°52' -59°00' с.ш., 26°58' -28°10' в.д., высота уреза воды – 30 м над уровнем моря. Озеро относится к бассейну Финского залива Балтийского моря и соединяется с ним небольшой по протяженности рекой Нарва.

Озерный комплекс имеет сложную конфигурацию, он вытянут в меридиональном направлении и состоит из трех частей: наиболее обширной северной (73 %) - Чудского озера (эст. *Peipsi järv*) — площадью 2613 км<sup>2</sup>, южной (20 %) - Псковского озера (эст. *Pihkva järv*) - 709 км<sup>2</sup> и, соединяющего их, Теплого озера (7 %) (эст. *Lämmijärv*); - 236 км<sup>2</sup>. Суммарная площадь зеркала всех озер в целом составляет в среднем 3558 км<sup>2</sup>, изменяясь в зависимости от уровня воды от 3473 до 4328 км<sup>2</sup> (Гидрометеорологический режим... 1983) Все озера сравнительно мелководны, их средняя глубина составляет 8.3 м, 3.8 м, 2.5 м, соответственно, объем водной массы - 21.79 км<sup>3</sup>, 0.60 км<sup>3</sup>, и 2.68 км<sup>3</sup> при суммарной величине - 25.07 км<sup>3</sup>, максимальная глубина - 15.3 м. (Lake Peipsi, 2001).

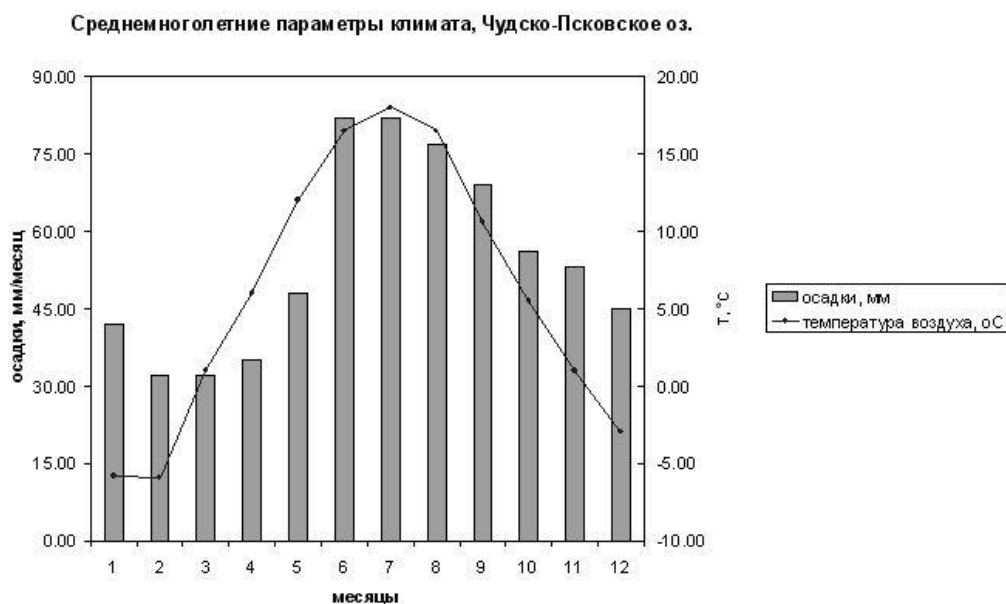
В Чудско-Псковское озеро впадает около 240 рек, ручьев и искусственных водотоков (Reinart, Valdmets, 2007). Наиболее крупными притоками являются р. Великая и Эмайыги (58% и 22% от общей площади водосбора, соответ-

ственно). К числу достаточно крупных рек с площадями водосбора более 1000 км<sup>2</sup> относятся также Выханду и Желча. Вытекает из озера река Нарва.



Рис. 4.36. Чудско-Псковское озеро. Фото NASA.

Береговая линия Чудско-Псковского озера характеризуется плавными очертаниями и слабо расчленена. Северная часть лишена бухт и заливов, и лишь в юго-восточной части Чудского озера лежит Раскопельская бухта, в Теплом озере – Желчинская, в северо-западной части Псковского озера – Вярская бухта. Берега преимущественно низменные, сложены торфяниками, дно плоское, покрытое мощным слоем серого ила. Южные и западные берега заболоченные, вдоль северного берега протянулись довольно высокие песчаные дюны, поросшие сосной. Грунты водоема отличаются однообразием, основными являются пески и илы, распределение которых в основном зависит от морфометрии озерного ложа.



**Рис. 4.37.** Среднегодовое климатические параметры Чудско-Псковского озера, ст. Псков

Острова малочисленны (29) и невелики по площади, крупнейший — Пийриссаар (Порка).

Современное озеро занимает котловину тектонического происхождения и является реликтом большого ледникового водоёма, оставшегося после отступления последнего Валдайского оледенения. Его возраст составляет приблизительно около 12 тыс. лет.

**Климат. Характеристики термического режима**

Климат региона характеризуется как умеренно-континентальный, что обуславливает неустойчивый характер погоды во все сезоны года. Чертами морского климата является влажное и умеренно теплое лето и сравнительно мягкая зима. Континентальность увеличивается к востоку, где зима продолжительней, а лето теплее. Общая величина годовых осадков в среднем по региону составляет около 600 мм, на возвышенностях (наветренные склоны) их количество может повышаться до 850 мм. На побережье Чудского озера и равнинах – 640 мм/год. Среднегодовая температура воздуха - +4.3-4.8°C. Средняя температура января – (-8-10°C), июля - +17-18°C (рис. 4.37). Продолжительность безморозного периода составляет 125-150 дней. В районе Чудского оз. Безморозный период длится несколько дольше, по мере продвижения на восток его продолжительность сокращается. Средние годовые скорости ветра на побережье озера составляют 4-5 м/с. Самым штормовым месяцем является октябрь, тихим –

июнь. Наибольшую повторяемость имеют ветры западного и южного направлений (Кондратьев и др., 2010).

Чудско-Псковское озеро характеризуется как полимиктический водоем. В летний период его водные массы испытывают активное ветровое перемешивание, с этим связано гомотермическое состояние воды и хорошие кислородные условия в течение всего безморозного периода. Для температурного режима характерен более быстрый прогрев и охлаждение Псковского и Тёплого озёр по сравнению с Чудским, что объясняется их морфометрическими особенностями. В результате в конце весны – начале лета разница между температурами поверхностного слоя озёр на одну и ту же дату могут составлять до 8-11°C. В конце лета горизонтальная температурная неоднородность равна 1.0-1.5°C. Максимальное значение средней по глубине температуры воды в Псковском озере – 22.2°C, в Чудском - 20°C (Соколов, 1952).

В зимний период на озере наблюдается обратная температурная стратификация, причем придонные слои воды имеют температуру примерно 1.5°. Озеро замерзает в конце ноября — начале декабря. С декабря по апрель-май его поверхность обычно покрыта льдом, однако, ледостав не всегда устойчивый. Псковское и Тёплое озеро вскрываются раньше Чудского. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к увеличению продолжительности периода «открытой воды» и повышению

теплообеспеченности озера. Так, если в 1960-80-е гг. продолжительность периода открытой воды составляла в среднем около 238 дней, то в 1990-е гг. она возросла до 251, а в 2000-е до 264 дней.

### **Характеристики водного режима и водного баланса**

Водосбор Чудско-Псковского озера располагается в зоне избыточного увлажнения, в условиях равнинного рельефа и слабой водопроницаемости преобладающих грунтов, он характеризуется наличием большого количества рек и небольших озер. Для рек характерно смешанное питание, на долю талых снеговых вод приходится около 50% годового стока, дождевых и подземных - по 25%. (Кондратьев и др., 2010). Подземные воды на территории бассейна повсеместно распространены в верхней части осадочного чехла (четвертичные и палеозойские отложения), как правило, они напорные. Области питания приурочены к возвышенностям (Судомской, Бежаницкой, Хаанья), а региональными областями разгрузки являются Псковское и Чудское озера, местная разгрузка осуществляется речной сетью. Мощность зоны пресных вод в области питания составляет 200-400 м, а в области разгрузки сокращается до 50-100 м (Кондратьев, 2008).

В приходной части водного баланса основная роль принадлежит притоку поверхностных и подземных вод, составляющему в многолетнем разрезе около 11.2 км<sup>3</sup>/год, среднемноголетняя величина осадков на поверхность водоема - 1.9 км<sup>3</sup>/год, небольшая доля приходится на подземное питание. В расходной части баланса преобладает отток - 12 км<sup>3</sup> в год, величина годового испарения оценивается в 1.1 км<sup>3</sup> в год (Соколов, 1952).

Годовой ход уровня воды Чудско-Псковского озера характеризуется наличием хорошо выраженного весеннего половодья, продолжающегося с апреля по июнь и связанного с обильным таянием снегов на водосборе, летне-осенней меженью, сменяемой осенними паводками и зимней меженью. Высокая доля заболоченности и лесистости на водосборе способствуют снижению весеннего половодья и увеличению летнего меженного стока, таким образом, летом уровень воды в озере даже при низких осадках поддерживается за счет речного притока. Минимум стока приходится на конец зимы – начало весны и обычно наблюдается в

марте, перед началом вскрытия водоема. Годовая амплитуда уровня составляет 0.5-1.5 м. Для озера характерны также долгопериодные циклы колебания уровня продолжительностью 18-33 года с амплитудой около 0.8 м.

### **Основные характеристики качества вод**

Чудско-Псковское озеро отличается невысокими значениями прозрачности воды, составляющими для Псковского озера 0.8-1.5 м по диску Секи, а для Чудского – 1.4-2.9 м. Величина рН колеблется преимущественно в пределах 7.8.-8.5, причем в последние годы наблюдается тенденция к повышению значений рН в летние месяцы до 8.5-8.9, что является еще одним подтверждением усиливающейся эвтрофикации водоема. Общая минерализация воды составляет в Чудском озере в среднем за период наблюдений 226 мг/л, а в Псковском – 212 мг/л.

По данным совместных российско-эстонских исследований (Lake Peipsi..., 2001; In the Mitro..., 2007) средние значения концентраций биогенных элементов в Чудском оз. составляют 30-40 мгР<sub>общ</sub>/м<sup>3</sup> и 630-680 мгN<sub>общ</sub>/м<sup>3</sup> и в Теплом оз. - 50-70 мгР<sub>общ</sub>/м<sup>3</sup> и 750-850 мгN<sub>общ</sub>/м<sup>3</sup>. В Псковском оз. при относительном постоянстве содержания общего азота (~ 900 мг/м<sup>3</sup>) выявлено двукратное возрастание концентраций общего фосфора (с 65 мг/м<sup>3</sup> в 1995 г. до 130 мг/м<sup>3</sup> в 2005 г.). При этом основной приток биогенных веществ происходит со стоком рек Великой и Эмайыги - 80% общего фосфора и 84% общего азота (Поступление...). Нарушение баланса азота и фосфора в пользу последнего может способствовать доминированию сине-зеленых водорослей при цветении воды. Наименьшие значения показателя N:P за период наблюдений составляли 11 – 13 и были зафиксированы в 1995 и 96 гг.

Несмотря на то, что в естественном состоянии Чудско-Псковское озеро в силу его хорошей ветровой перемешиваемости отличалось высокими концентрациями кислорода по всей водной колонке, в настоящее время, в связи с процессами эвтрофикации водоема содержание кислорода в воде снижается. Так в конце зимнего периода перед вскрытием водоема содержание кислорода у дна в конце 1990-х-2000-е гг. периодически опускалось до 1-2 мг/л. Малые концентрации кислорода наблюдались также и в период «цветения» водоема.

По средним за сезон значениям индексов



сапробности Чудско-Псковское оз. относится к  $\beta$ -мезосапробному типу, т.е. умеренно загрязненному органическим веществом. Трофический статус Чудско-Псковского озера, оцененный по концентрации азота, фосфора и хлорофилла-а, очень различен в каждой из 3-х его частей: собственно Чудское озеро является эвтрофным, оз. Теплое – близко к гиперэвтрофному и оз. Псковское – можно считать гиперэвтрофным (Nutrient loads..., 1999).

### Основные биологические особенности

Среди высшей водной растительности в Чудско-Псковском озере доминируют типичные для эвтрофных водоемов виды - тростник (*Phragmites australis*), камыш озерный (*Scheuchzeria palustris*) и рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*). На защищённых от ветра заиленных мелководьях и приустьевых участках встречаются мелкие заросли других видов растительности: ситняг (*Eleocharis sp.*), аир (*Acorus calamus*), сусак (*Butomus umbellatus*), манник (*Glyceria aquatica*), рогоз (*Typha angustifolia*), поручейник (*Sium latifolium*), хвощ (*Equisetum fluviatile*) и тростянка (*Scolochloa festucaceae*). Плавающие на воде растения встречаются редко, из них по частоте встречаемости следует отметить: стрелолист (*Sagittaria sp.*), гречиху (*Rolygonum amphibium*) и кубышку (*Nuphar lutea*).

В течение XX в. сообщество макрофитов претерпело значительные изменения как количественные, так и качественные. В 1960-е гг. под макрофитами находилось лишь 2.5% площади озера, однако по мере роста уровня трофности водоема площадь их распространения существенно росла, и к концу 1980-х гг. макрофиты занимали уже 7.5% площади от оз. Теплового и 7.9 % от оз. Псковское. Редкие виды, такие как шилолистник (*Subularia aquatica*) и полушник (*Isoetes setacea*) к концу XX в. исчезли, а такие обычные для мелководной литорали виды, как частуха (*Alisma gramineum*), и рдесты нитевидный и маленький (*Potamogeton filiformis*, *P. panormitanus*) существенно снизились по численности и в настоящее время встречаются редко (Kondratiev, 2009).

Фитопланктон Чудско-Псковского озера насчитывает 475 видов, среди которых представлены: зеленые водоросли (176), диатомовые (153 вида), сине-зеленые (102), эвглениды (18), золотистые (12), желто-зеленые (7), криптофитовые (4), динофлагелляты (3). Кроме обычных видов, характерных для эвтрофных и мезо-

трофных озер, здесь присутствуют также арктические, галофильные, галофобные, ацидофильные и алкалофильные виды. Состав доминирующих организмов в течение большей части XX в. не претерпевал значительных изменений (Laugaste et.al., 1996). Среди основных видов Псковского озера: *Aulacoseira granulata*, *A. italica var. valida*, *Stephanodiscus binderanus*, *Asterionella formosa* (диатомовые); *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *A. spiroides*, *Gloeotrichia echinulata* (сине-зеленые); в Чудском: *Aulacoseira islandica*, *Stephanodiscus binderanus*, *Aulacoseira granulata* (диатомовые), *Gloeotrichia echinulata*, *Microcystis pulverea*, *Anabaena flos-aquae* (сине-зеленые). По составу доминирующих видов фитопланктон водоема характеризуется как эвтрофный диатомово-сине-зеленый (Мельник, Ястремский, 2003).

Средняя биомасса фитопланктона в Псковском озере составляет 19.4 г/м<sup>3</sup>, а в Чудском - 12.9 г/м<sup>3</sup> (Поступление ....). Роль сине-зеленых водорослей наиболее высокая в Псковском озере, тогда как в Чудском оз. в течение всех сезонов по биомассе преобладают диатомовые. В годовом цикле биомассы обычно выражены два или три пика: весенний, связанный с обильной вегетацией диатомовых, наиболее высокий летний, приходящийся на расцвет сине-зеленых и диатомовых водорослей и осенний, при обилии диатомовых. Летний и осенний пики в ряд лет сливаются.

Согласно данным многолетних наблюдений в конце XX в. в озере наблюдалось стойкое повышение биомассы фитопланктона, которое в Псковском озере началось с 1998 г., а в менее эвтрофированном Чудском – с 1987 г., причем происходило более заметными темпами. С этого же времени в летний период наблюдалась вспышка в развитии двух видов сине-зеленых водорослей, не входивших ранее в состав доминирующих форм – *Planktothrix agardhii* и *Limnithrix redekei* и заметное увеличение биомассы криптофитовых. Начиная с 1988 г. в Псковском озере отмечена тенденция к снижению числа пиков биомассы фитопланктона в течение вегетационного периода от двух-трех до двух (весенний, летне-осенний) и даже до одного летне-осеннего, что является характерным признаком перехода водоема на гиперэвтрофную стадию (Мельник, Ястремский, 2003).

Зоопланктон Чудско-Псковского озера



насчитывает 290 видов, здесь встречаются организмы, характерные как для эвтрофных, так и для олиготрофных вод. В формировании биомассы основная роль принадлежит ветвистоусым ракообразным (около 60 %) и веслоногим рачкам (38 %). Соотношение этих групп значительно изменяется по годам. В Псковском озере в 2000-е гг. наблюдалось некоторое повышение доли ветвистоусых в общей биомассе зоопланктона по сравнению с 1980-ми гг., тогда как в Чудском оз. – наоборот, снижение. В 1990-е гг. отмечалось увеличение численности коловраток, появление в большом количестве представителей рода *Brachionus* и среди них *Brachionus galyciflorus*, типичного для эвтрофных водоемов. Особенно четко это выражалось в 1992 г., как в устьях рек (Великая, Черная), так и в Псковском озере. Значительной численности достигал и другой вид – *B. diversicornis homoceros* – до 155.2 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Афанасьев и др., 1997).

Средняя за вегетационный сезон биомасса зоопланктона в Псковском озере в различные годы составляла от 0.57 до 5.50 г/м<sup>3</sup>, а в Чудском – 0.35-6.40 г/м<sup>3</sup>. В годовом цикле биомассы обычно выражены один - два пика, максимальный, достигающий 9-13 г/м<sup>3</sup>, приходится на июнь-июль. И в Чудском, и в Псковском озерах с середины 1980-х гг. отмечался рост количественных показателей зоопланктона. В последние годы в Псковском озере его средне-сезонная биомасса продолжает увеличиваться, в то время как в Чудском озере она имеет тенденцию к снижению (Мельник, Ястремский, 2003).

Бентосная фауна Чудско-Псковского озера представлена 421 видом и подвидом донных организмов, среди которых наиболее многочисленны семейство комаров-звонцов (111), моллюски (83), и малощетинковые черви (59) (Timm et al., 1996, 2001). Подавляющее число видов бентоса являются эвритопными, с широким ареалом распространения. Особенно многообразна по видовому составу литоральная фауна в зарослях макрофитов, а также сублиторальная зона. По большей части сублиторали выражено дрейссенное «кольцо», образованное скоплениями двустворчатого моллюска мидия-зебры (*Dreissena polymorpha*). Небольшим видовым разнообразием характеризуется северная часть Чудского озера с песчаным и илисто-песчаным дном, а также

профундаль, где количество видов ограничено 30. Общими для всех озёр являются около 70% всех видов бентофауны, отличия в ее составе обусловлены разностью глубин, особенностями гидролого-гидрохимического режима, степенью трофности озёр и т.д. Своеобразие Чудского озера заключается в присутствии здесь видов, характерных преимущественно для холодноводных олиготрофных водоёмов: *Stylodrilus heringianus*, *Orthocladus saxicola*, *Monodiamesa bathyphila*, *Pallasiola quadrispinosa*. Для сезонной динамики профундального зообентоса характерно наличие двух максимумов численности – весенний и осенний, и летнего минимума.

Несмотря на практически неизменный видовой состав пелофильных ценозов в последние десятилетия заметна тенденция изменения структуры и количественных показателей бентоса в Псковском озере. Структурные изменения связаны с увеличением в общей биомассе доли моллюсков (*Pisidiidae*, виды р. *Valvata*). Так, в среднем за 1981-1985 гг. моллюски составляли 9.78 % биомассы пелофильных ценозов Псковского озера (Асельборн, 1987), в 1986 – 1992 гг. уже 16.1 % , а в 1993 – 1998 гг. – 36.2 %. Несколько снизилась средне-сезонная биомасса олигохет, при этом в последние годы до 81-100 % увеличилась степень доминирования среди них *Potamothrix hammoniensis*. В девяностые-двухтысячные годы увеличилась амплитуда межгодовых и сезонных колебаний биомассы донных беспозвоночных в Чудско-Псковском озере. Размах межгодовых колебаний в Псковском озере составил от 4.78 до 45.24 г/м<sup>2</sup>, в Чудском - от 2.78 до 26.20 г/м<sup>2</sup> (Мельник, Ястремский, 2003). В целом по Псковско-Чудскому озеру отмечается некоторое повышение средне-сезонной биомассы профундали, с 12.25 г/м<sup>2</sup> (1970 – 1978 гг.) до 14.8 г/м<sup>2</sup> (1993-2003 гг.).

Чудско-Псковское озеро - один из наиболее продуктивных водоемов Балтийского региона с высоким уровнем воспроизводства рыбного населения. В озере и его притоках обитает 33 вида рыб, из которых 23 местных: чудской сиг (*Coregonus lavaretus maraenoides*), ряпушка (*Coregonus albula*), снеток (*Osmerus eperlanus eperlanus*), лещ (*Abramis brama*), плотва (*Rutilus rutilus*), елец (*Leuciscus leuciscus*), язь (*Leuciscus idus*), пескарь (*Gobio gobio*), укляя (*Alburnus*

Уловы рыбы в Чудско-Псковском озере

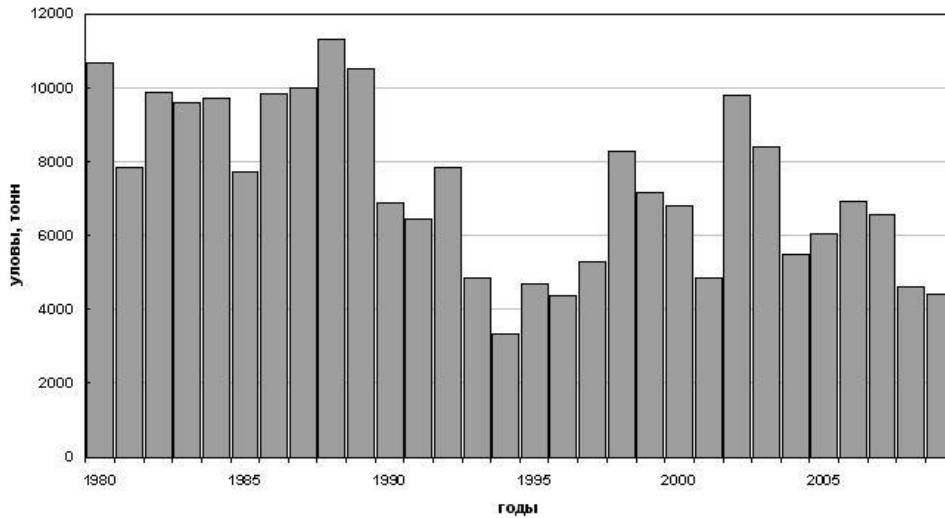


Рис. 4.38. Уловы рыбы в Чудско-Псковском оз. по данным ГОСНИОРХ.

*alburnus*), жерех (*Aspius aspius*), густера (*Blicca bjoerkna*), сырть (*Vimba vimba*), сом (*Silurus glanis*), угорь (*Anguilla anguilla*), щука (*Esox lucius*), судак (*Sander lucioperca*), окунь (*Perca fluviatilis*), ерш (*Acerina cernua*), трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus*), девятииглая колюшка (*Pungitius pungitius*) и налим (*Lota lota*). Кроме того, к числу рыб, обитающих в Псковско-Чудском озере, можно отнести предположительно акклиматизировавшегося здесь амурского сазана (*Cyprinus carpio haematopterus*), выпущенного в озеро в 1947-1951 гг. Промысловыми видами в последнее десятилетие являются чудской сиг, ряпушка, снеток, судак, лещ, щука, окунь, плотва.

Несмотря на то, что Псковское и Чудское озера имеют общий видовой состав, существуют определенные различия в численности популяций рыб в каждом из них. Так, в более мелководном Псковском озере представители холодноводного комплекса рыб – сиг и ряпушка – встречаются редко, в непромысловых количествах.

На протяжении столетия видовой состав рыб Чудско-Псковского озера практически не изменился. Из ихтиофауны водоема исчез только угорь, ранее естественным путем проникающий в озеро на гул из Балтийского моря, после зарегулирования р. Нарвы (с созданием Нарвского водохранилища) миграции угря стали невозможны. Однако под влиянием экологических факторов среды, а также за

счет интенсификации рыболовства в структуре озерного ихтиоценоза произошел ряд существенных изменений. Так, например, потепление климата, сильное «цветение» водоема, ведущее к уменьшению прозрачности воды, заиливание грунтов являются условиями, благоприятными для жизнедеятельности судака, и крайне неблагоприятными для сиговых рыб. Вызывают тревогу участвовавшие в последние годы заморные явления, происходящие в больших масштабах и затрагивающие все большее количество видов рыб.

Годовые уловы рыбы по всему озерному комплексу составляли в 1980-е гг. около 7000-11000 тонн, в 1990-е гг. уловы резко снизились до 3500-8000 тонн, и в 2000-е гг. составляли 4500-10000 тонн (рис. 4.38). В последние годы в территориальных водах Эстонии (в Теплом и Чудском озерах) наметилась тенденция роста уловов, в результате чего вылов рыбы по Эстонии в 2009 г., впервые за последние 15 лет, превысил совокупный вылов по России (включая Псковское озеро).

В прибрежной полосе Псковского озера расположен водно-болотный орнитологический заказник «Псковско-Чудская приозёрная низменность», являющийся ценнейшим резерватом многих редких растений и животных, произрастающих и обитающих в Балтийском регионе. Болотные земли являются местом отдыха и кормёжки лебедей, гусей и уток на пути их миграции.

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь бассейна Чудско-Псковского озера составляет около 44000 км<sup>2</sup> (26% ее находится в Эстонии, 67% - в России и 7 % - в Латвии). Здесь проживает более 1.1 млн. человек, в основном в сельской местности. На долю сельскохозяйственных земель приходится около 40% от общей площади водосбора, причем значительная их часть или не используется, или находится под паром. Еще около 40% площади занимают лесные массивы. Аграрный комплекс является важнейшей составной частью экономики региона как в российской, так и в эстонской частях водосбора. Приоритетными направлениями развития сельского хозяйства в российской части являются: производство молока, промышленное свиноводство и птицеводство, овощеводство, льноводство. На долю животноводства приходится около 80% от общей выручки сельхозпредприятий, причем около половины - на молоко. Структура посевных площадей отражает развитие кормопроизводства, определяющего состояние ведущей отрасли - молочного животноводства (Kontratiev et al., 2009).

Крупнейшими городами в бассейне озера являются Псков и Тарту, а также Остров, Опочка, Печоры. Наиболее важными отраслями промышленности в российской части бассейна являются пищевая и легкая промышленность, машиностроение, производство электрооборудования, а также электронного и оптического оборудования. Среди важнейших отраслей промышленности в Эстонии – машиностроение и металлообработка, приборостроительная промышленность, мебельная, лёгкая и пищевая промышленность. В настоящее время быстро развивающимися отраслями в Эстонии являются лесное хозяйство и производство бревен.

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Чрезмерная антропогенная нагрузка в бассейне Чудско-Псковского озера, наблюдавшаяся в течение XX в., особенно во второй его половине, привела к значительным ухудшениям качества озерной воды. Большинство показателей указывали на постепенное увеличение уровня трофности водоема. Многолетние данные наблюдений свидетельствовали, что интенсивная эвтрофикация озера началось в 1970-е гг. (Noges et al., 2003). В результате, уже к 1980-е гг. озеро Чудское от мезотрофного уровня, ха-

рактерного для него в 1960-е гг., перешло в категорию эвтрофных водоемов, а оз. Псковское – от эвтрофного уровня к гипертрофному.

В 1990-е гг., с распадом Советского Союза, обстановка с поступлением в озеро различного рода загрязнителей изменилась. Ухудшение экономической ситуации в Эстонии, Латвии и Российской Федерации, сопровождающееся снижением как сельскохозяйственного, так и промышленного производства, способствовало на первых этапах значительному сокращению поступления в озеро стоков. Другим фактором, способствующим снижению загрязнения, явились предпринимаемые со второй половины 1990-х гг. водоохранные меры, в том числе улучшение очистных сооружений на большинстве точечных источников загрязнения. Однако, несмотря на все вышесказанное, на сегодняшний день, Чудско-Псковское озеро все еще остается под сильным антропогенным прессом. Период экономического спада оказался не столь продолжительным для того, чтобы в озере смогли начаться восстановительные процессы, и предпринимаемые меры по очистке стоков являются пока для этого недостаточными. Процесс антропогенного эвтрофирования водоема продолжается, причем в последние годы он особенно резко проявляется в экосистеме менее загрязненного на сегодняшний день Чудского озера. В результате эвтрофикации в Чудско-Псковском озере ежегодно в летне-осенний период наблюдается «цветение» воды различной интенсивности, связанное с массовым развитием сине-зеленых водорослей. В цветении в порядке очередности вегетации принимают участие: *Anabaena flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata* и *Aphanizomenon flos-aquae*. Повышение уровня трофности водоема и вызываемое им «цветение воды» негативно сказывается и на рыбном населении водоема. С конца 1980-х гг. в озере все чаще стали наблюдаться заморные явления, причем не только в зимний период, но и в летний (Noges et al., 2003), в связи с исчерпанием в воде кислорода во время обильного развития фитопланктона.

Основным источником поступления биогенных веществ в озеро является сельское хозяйство, стоки которого обеспечивают приток в озеро с эстонской части более половины от общего поступления азота и около 40% - фосфора, а с российской – 70 и 65%, соответственно. Таким образом, ожидаемое в будущем увеличение сельскохозяйственного производства без приня-

тия должных мер и совершенствования сельскохозяйственной практики может крайне негативно отразиться на озерной экосистеме.

Наряду с биогенным загрязнением, озеро испытывает на себе значительное загрязнение тяжелыми металлами и детергентами, связанное с развитием промышленности на водосборе. Два наиболее крупных на водосборе города - Псков и Тарту, несмотря на модернизацию их очистных систем, являются основными источниками загрязнения озера как промышленными, так и бытовыми стоками.

Согласно выполненным оценкам индекса загрязненности вод (ИЗВ) на начало XXI в. воды поверхностных горизонтов Псковского, Теплового и восточной части Чудского озер относятся к III - IV классам качества т.е. являются «умеренно загрязненными» и «загрязненными» (План..., 2006). Придонные воды «умеренно загрязнены» (III класс качества). Часто фиксируются значительные превышения значений ПДК для нефтепродуктов, фенолов, БПК<sub>5</sub>, ХПК, амонийного азота, а также металлов (железо, медь, магний, цинк, кадмий).

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

Начало изучения лимнологии Чудско-Псковского оз. было положено еще Соколовым (1941), и успешно продолжалось до конца 1980-х. В начале 1990-х гг., в связи с образованием в Балтийском регионе независимых государств и превращением Чудско-Псковского оз. комплекса в трансграничный водоем, возникли некоторые сложности в согласовании работ по мониторингу и обмену информацией между Россией и Эстонией. В конце 1990-х гг. на Чудском озере имел место Шведско-Эстонско-Российский проект по мониторингу, направленный на улучшение качества работ региональных экологических органов, отвечающих за охрану окружающей среды на водосборном бассейне озера, а также на улучшение обмена информацией между эстонской и российской сторонами. В результате совместных усилий к началу 2000-х гг. наметился существенный прогресс в объединении сил по совместному изучению озера заинтересованными сторонами (Lake Peipsi..., 2001; In the mirror..., 2007). В настоящее время использование водных ресурсов водосборного бассейна Чудско-Псковского оз. регулируется рядом международных конвенций, среди которых наиболее значимым является соглашение меж-

ду правительствами России и Эстонии по сотрудничеству в области охраны и рационального использования трансграничных вод, подписанное в Москве 20 августа 1997 г. (Румянцев и др., 2006).

В национальную программу мониторинга Эстонии входит его проведение на 8 реках, дренирующих 90% территории Эстонской части водосборного бассейна озера. На них ежемесячно определяется расход и отбираются пробы на анализ содержания в воде питательных веществ. В России эта программа проводится только на 2-х реках (Великая и Гдовка), которые дренируют 87% водосборной территории Российской части бассейна. Определение концентрации биогенных веществ в воде Чудско-Псковского озера и других показателей, характеризующих степень его эвтрофикации, на начало 2000-х гг. проходило на 5 станциях на Эстонской стороне и на 10 станциях на Российской.

В соответствии с Российско-Эстонской программой рационального использования и охраны водных ресурсов Чудско-Псковского оз. на 2005-2015 гг. основным направлением совместных действий по предотвращению дальнейшего эвтрофирования озера является снижение сбросов фосфора со сточными водами городов и крупных населенных пунктов. Особое внимание в этой связи уделяется совершенствованию очистных сооружений Пскова и Тарту, где постоянно проводятся работы по улучшению систем водоочистки, биологическому обезвреживанию иловых осадков, строительству цехов механического обезвреживания осадка. Кроме того, проводится комплекс мер по снижению фосфорной нагрузки на озеро, включающий строгое соблюдение технологий внесения удобрений на водосборе, организацию оборудованных навозохранилищ и мест хранения минеральных удобрений и др. В современных условиях большое внимание к экологическим аспектам хозяйственной деятельности уделяет не только государство, но и общественные организации.

#### **ОЗЕРА ШВЕЦИИ**

Швеция является одной из самых озерных стран мира, где количество озер превышает 100 тыс. с общей площадью 41 тыс. км<sup>2</sup> (8.7% территории страны). Самые большие и достаточно глубокие озера Швеции находятся

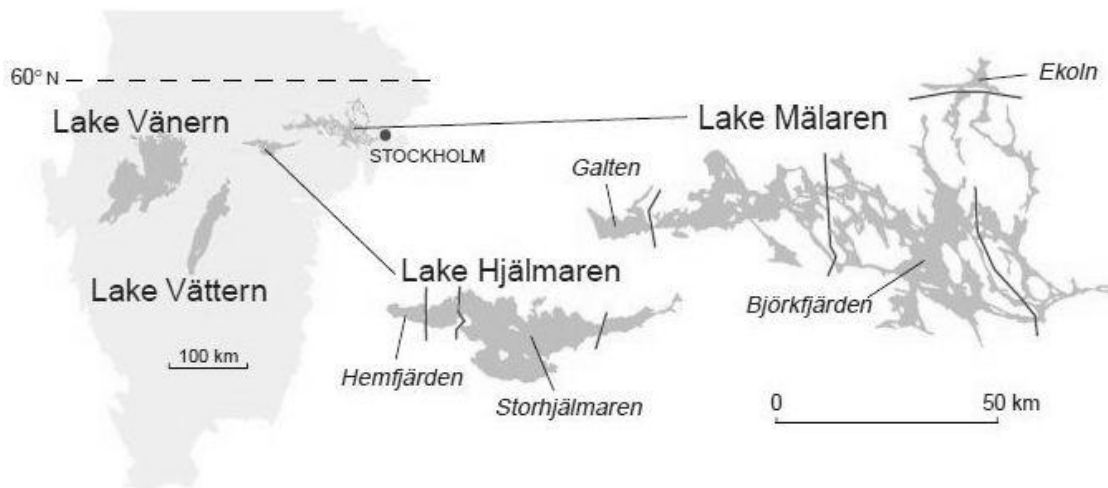


Рис. 4.39. Озера Швеции. Источник: Wilander, Persson, 2001.

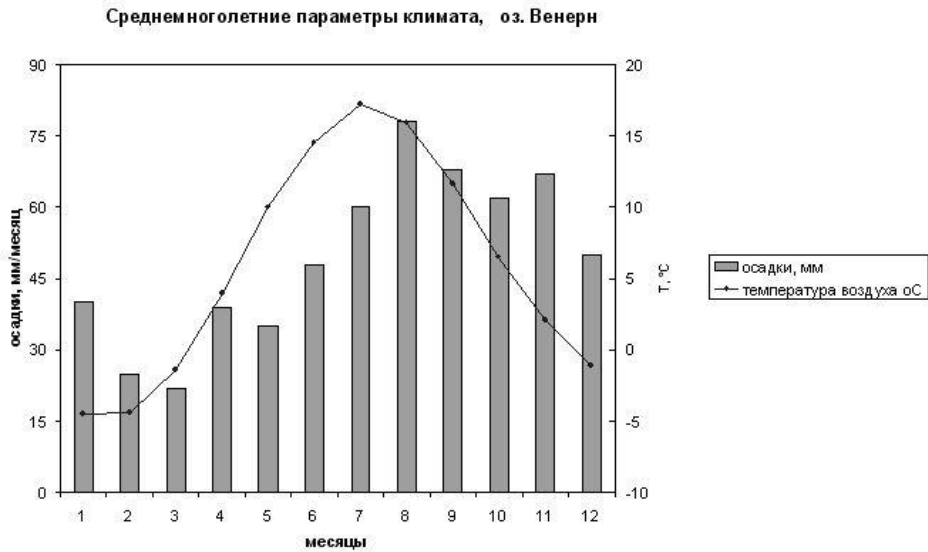
Таблица 4.5. Морфометрическая характеристика озер.

Показатели	Оз. Венерн	Оз. Ваттерн	Оз. Эльмарен	Оз. Меларен
Высота над уровнем моря, м	44	89	22	0.3
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	5 648	1 856	478	1 140
Объем водной массы, км <sup>3</sup>	153	74	2.9	13.8
Максимальная глубина, м	106	128	22	61
Средняя глубина, м	27	39.9	6.1	11.9
Время водообмена, год	9	55.9	3.3	2.2
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	41 182	4 503	3 575	21 460

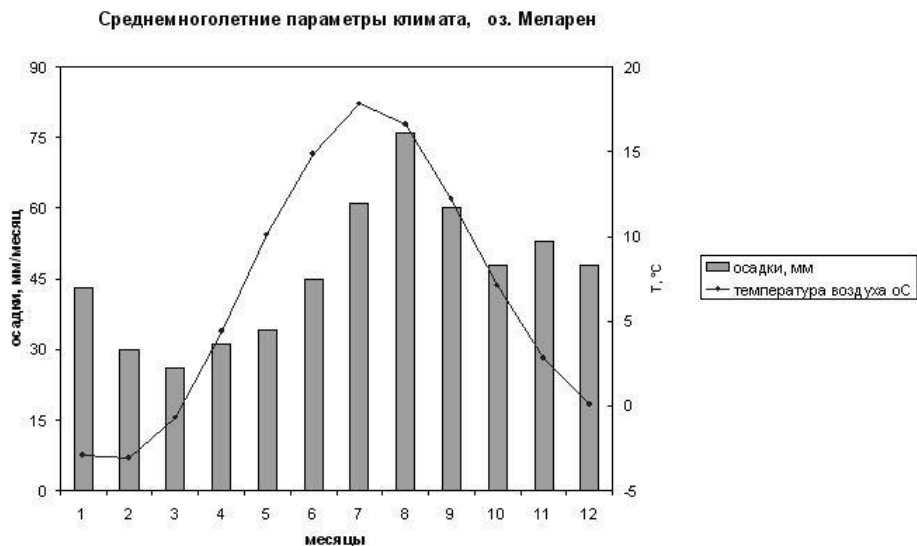
на юге страны - это озера Венерн, Веттерн, Меларен и Эльмарен, вместе они составляют 22% от площади всех озер страны (рис. 4.39, табл. 4.5). Первое из них по площади занимает 29, а по объему водной массы 32 место среди крупнейших озер мира. Эти озера созданы ледниковым выпахиванием. В тех местах, где были распространены породы, менее устойчивые к денудации, выпахивание могло происходить на большие глубины. В результате были созданы глубокие котловины. В некоторых из них существовали межледниковые озерные и морские бассейны. В позднеледниковое время эти котловины были вновь заняты озерами, которые непрерывно развиваются вплоть до настоящего времени (Квасов, 1986). Прежде чем большие озера стали самостоятельными пресноводными водоемами, они затоплялись солоноватыми водами. Озера Венерн и Веттерн были полностью изолированы от окружающих морей 9 000 лет назад. Образование

столицы Швеции Стокгольма стало возможным только тогда, когда оз. Меларен стало изолированным от моря. Однако солоноватые воды поступали в озеро даже в 20-м веке при подъеме уровня воды Балтийского моря. Для предотвращения этого в 1940-х годах в Стокгольме была построена дамба.

Озера расположены на границе южной тайги и подтаежной зоны. Для региона характерны сезонная контрастность температур с длительной зимой и умеренно теплым летом, избыточное увлажнение, господство хвойных лесов (рис. 4.40, 4.41). Период ледостава для озер Эльмарен и Меларен – около 120-140 дней. Как результат увеличения средних глобальных температур в последние десятилетия в больших озерах Венерн и Веттерн безледные зимы стали более частыми. Так, за период 1979-1995 гг оз. Венерн и оз. Веттерн замерзало зимой девять раз. За период 1995-2002 гг они не замерзали



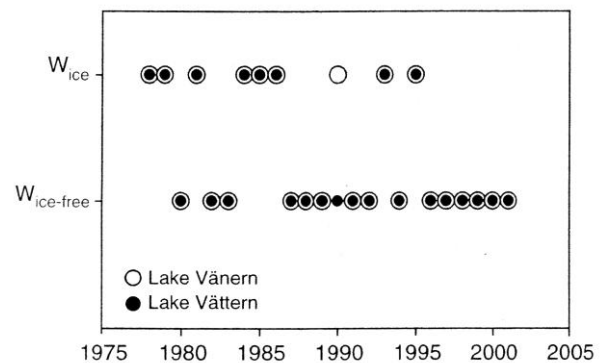
**Рис. 4.40.** Среднегодовые параметры температуры воздуха и осадков, ст. Карлстад



**Рис. 4.41.** Среднегодовые параметры температуры воздуха и осадков, ст. Стокгольм.

вообще (рис. 4.42). Сравнивая среднемесячную температуру воды в озерах в мае было установлено, что в периоды отсутствия льда температура воды в оз. Венерн была на  $2^{\circ}\text{C}$ , а в оз. Веттерн – на  $1.3^{\circ}\text{C}$  выше, чем в годы, когда озера замерзали (Weyhenmeyer et al., 2008).

Южные районы Швеции являются наиболее освоенными районами страны. Здесь хорошо развита как промышленность, так и сельское хозяйство. Промышленность представлена целлюлозно-бумажными, деревообрабатывающими, текстильными, химическими, металлургическими предприятиями, ведутся разработки полезных ископаемых. Сельскохозяйственными землями занято от 18% на водосборе оз. Венерн



**Рис. 4.42.** Зимы с ледовым покровом ( $W_{ice}$ ) и без ледового покрова ( $W_{ice-free}$ ) на оз. Венерн и Вектерн. Источник: Weyhenmeyer et al., 2008.

до 26% на водосборе оз. Эльмарен. Плотность населения также достаточно высокая. На водосборах оз. Венерн 32.9 чел./км<sup>2</sup>, оз. Веттерн – 46.5, оз. Эльмарен – 67.7. оз. Меларен – 50.6 чел./км<sup>2</sup>. Здесь расположено довольно много городов, но большинство из них имеют население 18-95 тыс. человек. Самый крупный город - столица Швеции Стокгольм с населением 810 тыс. человек, а с пригородами – около 2 млн. человек. Из других городов следует назвать следующие – Уппсала (190 тыс. чел.), Вестерас (135 тыс. чел.), Эребру (132 тыс. чел.), Йёнчёпинг (125 тыс. чел.).

Все рассматриваемые озера объединены в единый водный путь из г. Стокгольма до г. Гётеборг, так называемый Гёта-канал. Это потребовало строительства значительных гидротехнических сооружений, прежде всего каналов, соединяющего озера Венерн и Веттерн и Веттерн и Эльмарен. Озеро Меларен имеет сток в Балтийское море у г. Стокгольм через канал Сёдертелье и систему шлюзов. Таким образом, все эти озера в настоящее время составляют единую систему. Озеро Эльмарен трудно назвать большим, но поскольку его роль во всей системе значима, оно, как правило, всегда рассматривается вместе с остальными большими озерами.

Значительное антропогенное воздействие на озера привело к ухудшению качества их воды, что потребовало регулярного исследования экосистем этих озер с целью разработки мероприятий по их восстановлению и охране. Наиболее сильное загрязнение воды наблюдалось в оз. Меларен уже в 1960-х годах. Значительные усилия были предприняты для предотвращения попадания в это озеро биогенных элементов, прежде всего за счет химического осаждения фосфора при обработке сточных вод. В 1973 г. в бассейне оз. Меларен предприятий с обработкой сточных вод было около 62%, тогда как по всей стране - только 26%, а в 1975 г. эти величины соответственно составляли 92 и 50%. На водосборах других рассматриваемых озер были предприняты попытки отведения стоков биогенных элементов, не допуская поступления их в озера. Регулярные комплексные исследования начались на оз. Меларен с 1964г., на оз. Эльмарен – с 1965 г., на оз. Ваттерн – с 1966 г. и на оз. Венерн – с 1973 г. (Willen, 1975). К концу 1970-х годов несколько улучшилось экологическое состояние озер. В 1981-1985 гг. биогенная нагрузка на озера была следующей: на оз. Венерн годовая

фосфорная нагрузка составляла 880 т, азотная – 17380 т, на оз. Веттерн – соответственно 65 т и 3370 т, на оз. Эльмарен – соответственно 65 т и 2750 т, на оз. Меларен – соответственно 590 т и 13400 т. (Data Book..., 1989). Хотя биогенная нагрузка в данном случае находится в некоторой зависимости от площади водосбора, содержание биогенных элементов в озерной воде определяется не только нагрузкой на озера, но и их площадью.

Из естественных факторов, повлиявших на экологическое состояние озер, следует назвать продолжающийся подъем территории, который в районе озер Венерн и Веттерн составляет 2-3 мм в год, а озера Меларен и Эльмарен – 4-5 мм в год. Это привело к увеличению литоральной зоны на отлогих склонах берегов озер, которая стала интенсивно зарастать тростником (Willen, 2001a). В настоящее время все озера зарегулированы.

#### 4.15. ОЗЕРО ВЕНЕРН

Озеро Венерн, расположенное в пределах провинций (лен) Верmland и Скараборг, самое большое озеро Швеции и четвертое по величине озеро Европы после Каспия, Ладожского и Онежского озер. Его координаты 58°22' – 59°25' с.ш. и 12°19' – 14°10' в.д. Озеро расположено в районе выхода архейских пород, однако водосбор представлен преимущественно моренными отложениями, бедными питательными веществами. Берега озера в основном низкие. Рифтовая зона, направленная с севера на юг, делит озеро на два основных плеса. Множество небольших островов формирует архипелаг в центральной части озера. Наибольшая глубина характерна для восточного плеса (рис. 4.43).

Озеро димиктическое, два раза в год, весной и осенью, водные массы полностью перемешиваются, летом устанавливается устойчивая стратификация температуры. В течение лета происходит циркуляция воды против часовой стрелки. Весной нагревание воды идет неравномерно в мелководный и глубоководный районах озера, термический бар сдерживает в это время обмен воды между этими районами.

В озеро впадает более 100 рек. Основной приток р. Кларельвен впадает в северную часть озера. Сток осуществляется через реку Гёта в пролив Каттегат, соединяющий Балтийское и Северное моря. В 1935 г. озеро было зарегу-



лировано, в настоящее время колебания уровня не превышают 1.7 м. Водосбор озера почти в 8 раз превышает площадь озера и охватывает около 10% площади Швеции.



**Рис. 4.43.** Батиметрическая карта оз. Венерн.  
Источник: Data Book..., 1987-1989.

В конце 19 столетия на притоках и берегах озера начала интенсивно развиваться целлюлозно-бумажная промышленность, которая стала его доминирующим загрязнителем. Стоки предприятий целлюлозно-бумажной промышленности отличаются высоким содержанием органического вещества с компонентами лигнина, а также цинка и кадмия. Органическая нагрузка на озеро уже с начала 20 века стала приводить к увеличению цветности воды. Пик загрязнения пришелся на начало 1960-х годов, когда содержание в озере органического вещества (по данным перманганатной окисляемости) по сравнению с 1900 г. возросло почти в 4 раза, 45 и 12 мг/л, соответственно. Загрязнение потребовало принятия срочных мер по его сокращению: был закрыт ряд устаревших заводов, введены современные технологии производства целлюлозы и очистки сточных вод (Wilander, Persson, 2001). В настоящее время величина перманганатной окисляемости составляет 15 мг/л. Прозрачность воды озера в 2000-х годах стала почти такой же, как в начале 20-го века, т.е. более 5 м по диску Секки, в период наибольшего загрязнения прозрачность воды составляла всего 2 м.

Другим источником загрязнения озера является

хлорщелочной завод на его северном берегу, в сточных водах которого содержалось много ртути. В 1960-х годах высокая концентрация ртути была обнаружена в озерной воде и, особенно, в донных отложениях, загрязнение которых охватывало значительную площадь. Выявление ртути в рыбе привело к вынужденному запрету на ее потребление, так как концентрация ртути в тканях значительно превышала допустимую концентрацию в 1 мг/кг. В последствие на заводе была внедрена новая технология, которая серьезно уменьшила и даже ликвидировала поступление ртути в озеро. В течение некоторого времени ртуть все еще встречалась в донных отложениях, но уже отсутствовала в рыбе (Lindstrom, 2001). В настоящее время в бассейне озера проводится почти полная очистка сточных вод: усовершенствованные локальные системы очистки охватывают 100% муниципального и более 90 % сельского населения. Приблизительно 75 % стоков прежде чем попасть в озеро проходят дополнительную очистку, протекая через острова архипелага.

Общая минерализация воды озера 50-80 мг/л. Водная толща равномерно насыщена кислородом, концентрация которого составляет 9.3-13.5 мг/л в период открытой воды. Величины рН изменяются в узких пределах 7.1-7.7. С середины 1990-х годов до настоящего времени концентрация общего фосфора находится на стабильном и низком уровне 8-10 мкг/л. Максимальный подъем содержания общего фосфора до 15 мкг/л отмечался в 1980 году (рис. 4.44). Приводимые данные характерны для центральной части озера, в некоторых заливах общего фосфора было больше (Wilander, Persson, 2001). Проблема биогенных элементов еще сохраняется в озере из-за высокого содержания азота, главным образом в виде нитратов, которые в основном поступают с сельскохозяйственных полей. Среднее содержание общего азота за период 1981-1995 гг (март, май-октябрь) составило 768-932 мкг/л, а нитратов 495-597 мкг/л (Weyhenmeyer, 2004). В центральной части озера концентрация общего азота превышает концентрацию общего фосфора в 80-100 раз. Значительное количество нитратов в воде связано не только с поступлением с водосбора, но и со слабым их потреблением в самом озере водорослями, развитие которых ограничено низким содержанием фосфора. Кроме того, из-за низкой первичной продукции органического вещества

здесь слабо развиты процессы денитрификации (Willen, 2001a). В настоящее время концентрация общего азота составляет около 800 мкг/л. Концентрация кремния равна 0.2-0.5 мг/л.

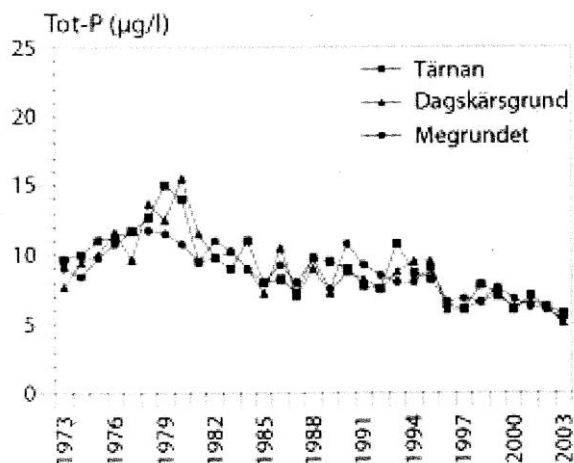


Рис. 4.44. Содержание общего фосфора в воде различных районов оз. Венерн. Источник: Wilander, Persson, 2001.

По своему трофическому статусу оз. Венерн является олиготрофным водоемом, за исключением небольших прибрежных районов. Количественные показатели фитопланктона и величины хлорофилла «а» в озере низкие. Содержание хлорофилла «а» в среднем за период 1973-2003 гг в течение вегетационного периода колебалось в пределах 0.9-3.0 мг/м<sup>3</sup>, при этом не наблюдалось какого-либо тренда изменения этих величин. В мае содержание хлорофилла «а» в среднем составляло 1.0 мг/м<sup>3</sup>, если же озеро не замерзло, то эта величина была значительно выше – 2.5 мг/м<sup>3</sup>, при этом концентрация биогенных элементов оставалась на одном уровне. Хорошее перемешивание воды с благоприятными температурными условиями (около 5°C) после отсутствия ледостава благоприятны для развития доминирующего вида *Aulacoseira islandica*, биомасса которого достигает 0.08 мг/л против 0.02 мг/л в мае после ледостава. Суммарная биомасса диатомовых в эти периоды составляла, соответственно, 0.26 и 0.06 мг/л. Другие виды водорослей таких различий не проявляют (рис. 4.45) (Weyhenmeyer et al., 2008). В течение вегетационного периода в озере преобладают диатомовые и криптофитовые водоросли. Из диатомовых наиболее часто встречаются *Aula-*

*coseira islandica*, *Melosira islandica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria flocculosa*, *Diatoma elongatum*, из криптофитовых – *Rhodomonas lacustris*, *Cryptomonas* spp. В некоторых районах встречались синезеленые- *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*. Биомасса фитопланктона достаточно низкая, максимальные ее величины 0.4-0.5 мг/л отмечаются в мае-июне. Годовая первичная продукция органического вещества в 1976 г. составляла 20 гС/м<sup>2</sup>

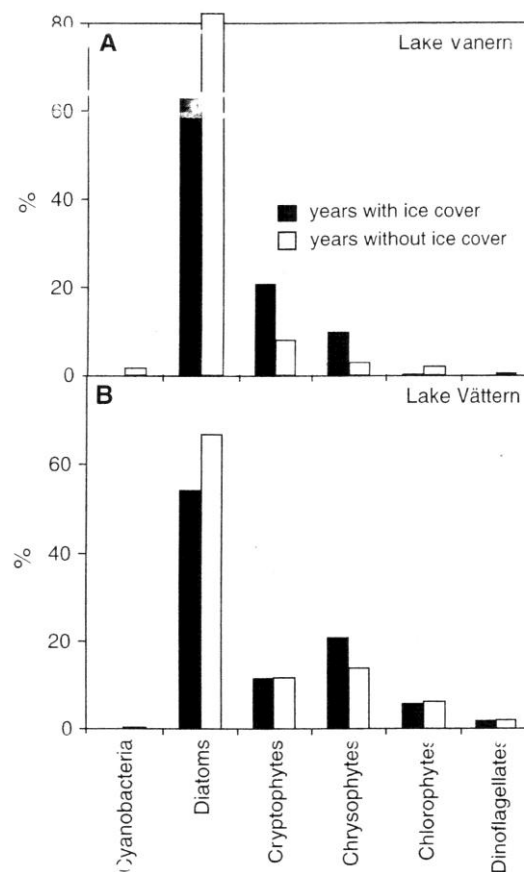


Рис. 4.45. Процент участия различных таксономических групп водорослей в общей биомассе оз. Венерн и Веттерн в мае в годы с и без ледяного покрова. Источник: Weyhenmeyer et al., 2008.

Зоопланктон представлен следующими видами: копепода (*Eudiaptomus gracilis*, *Cyclopiidae* spp., реликтовая *Eurytemora lacustris*), кладоцера (*Daphnia cristata*, *Eubosmina coregoni*), коловратки (*Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta* spp., *Kellicottia longispina*).

Среди донных организмов есть морские реликтовые организмы, сохранившиеся с ледникового периода. Это в первую очередь амфипода

*Pontoporea affinis*, которая доминирует в бентосе и в профундале озера и составляет 62% от общей численности макрозообентоса, а вместе с олигохетамим (*Stylodrilus heringianus*, *Spirosperma ferox*, *Limnodrilus profundicola*, *Tubifex tubifex*) - 90 %. Многолетние исследования выявили неравномерное распределение бентосных организмов. Так, за период 1973 – 1986 гг. было обнаружена два максимума развития *Pontoporea affinis* в середине 1979-х и середине 1980-х гг., когда их численность достигала 1500-1600 экз./м<sup>2</sup>. Между этими максимумами численность не превышала 500 экз. на м<sup>2</sup>. Синхронно в те же самые периоды изменялась численность олигохет: максимум – 500-600 экз., а минимум – 200 экз./м<sup>2</sup>, а также численность *Pisidium conventus*: максимум – около 300 экз., минимум – около 50 экз./м<sup>2</sup>. Причины колебаний численности донных организмов пока не установлены, но возможно это связано с изменением питательных ресурсов (Johnson, Wiederholm, 1990).

Рыбное население в озере представлено 36 видами, среди которых наиболее распространены являются форель, сиг, судак, ряпушка, голец, корюшка, окунь, щука, налим. Строительство электростанций и зарегулированность озера отрицательно повлияло на рыбное население. Годовая рыбная продукция в настоящее время составляет 540 тонн. Согласно водному законодательству, принятому в 1993 г., в Швеции сильно ограничено любительское рыболовство.

Принятые срочные меры по ликвидации загрязнения озера, которое особенно сильно проявилось в 1960-е годы, спасли качество его воды и сохранили олиготрофный статус. В настоящее время уменьшилось содержание органического вещества, биогенных элементов, токсичных микроэлементов и хлорорганических соединений. В 1970 г. в тканях рыб содержание полихлорбифенолов превышало 20 мкг/г, в 1980 г. - 5, а в 1995 г. уже не превышало допустимые концентрации и составляло менее 1 мкг/г. В 1999 г. Шведский парламент принял ряд постановлений для поддержания устойчивого развития окружающей среды на 20-25 лет. Они предусматривают контроль загрязнения, в том числе биологического, поддержание биологического разнообразия, создание нормальных условий для рекреации. Контроль и охрана относятся не только к озерам, но и к их водосборам.

#### 4.16. ОЗЕРО ВЕТТЕРН

Озеро Веттерн по площади занимает второе место в Швеции, а по глубине – первое (табл. 4.5). Его координаты – 57° 46' – 58° 52' с.ш., 14° 07' – 15° 00' в.д. История озера связана с последовательной сменой озерных и морских постгляциальных фаз в период 12000-6000 лет до н.э. Примерно 8000 лет назад бассейн озера Веттерн был приподнят над поверхностью Анцилового моря, после чего озеро стало самостоятельно существовать.

С востока и запада оз. Веттерн окружено горами и имеет очень живописные берега. В средние века на большом острове Висингсё жили короли. Котловина озера имеет вытянутую форму, максимальные глубины отмечены в его южной части, южнее острова Висингсё (рис. 4.46). Озеро легко реагирует на изменения ветра и атмосферного давления, отвечающие за развитие постоянных волн амплитудой 20-25 см. Сейши вызывают сильные потоки, определяющие распределение эрозионных и аккумуляционных веществ в донных отложениях.

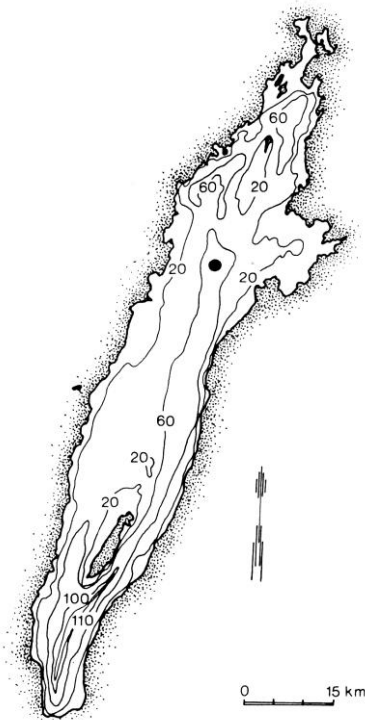


Рис. 4.46. Батиметрическая карта оз. Веттерн. Источник: Data Book..., 1987-1989.

Озеро димиктическое. (Data Book., 1989). С 1995г. оно практически не замерзает (рис. 4.42). В 1928 г. озеро было зарегулировано, и колебание уровня воды в настоящее время не пре-

вышает 0.3 м. В озеро впадает 6 достаточно крупных и множество небольших притоков и ручьев. Сток из озера поступает в систему озер, связанных каналом с Балтийским морем. Водосбор всего в 2.5 раза превышает площадь озера, что способствует сохранению его уникальных свойств и высокого качества воды, и, что особенно важно, препятствует его загрязнению через воздушный перенос. Озеро признано национальным достоянием и охраняется законом. Оно является одним из немногих больших пресных озер, пригодных для использования для питьевых нужд практически без очистки.

Оз. Венерн является олиготрофным, а в отдельные периоды даже ультраолиготрофным водоемом. Однако и для него были периоды, когда наблюдались критические изменения его экологического состояния. В середине 20-ого века в бассейне озера, особенно на юге, возникли различные поселения. Население г. Йенчепинг росло наиболее быстро (в настоящее время в нем свыше 100000 жителей). Рост населения привел к поступлению в озеро сточных вод, содержащих значительное количество биогенных элементов, органических веществ, в воде появились хлорорганические соединения. Наибольшие изменения произошли в период 1950-1960 гг. Так, в 1935 году прозрачность воды по диску Секки составляла 17.5 м, а в 1950 г. – только 7.5 м. В этот период годовая фосфорная нагрузка составляла 180 т, азотная – 7000 т. В конце 1960-х гг. концентрация общего фосфора достигала 8-14 мкг/л. Начавшийся процесс эвтрофирования прежде всего сказался на массовом развитии фитоперифитона, который стал забивать рыболовецкие сети (Persson et al., 1989).

Предпринятые срочные меры по очистке и отведению сточных вод значительно улучшили состояние озера. В настоящее время биогенная нагрузка составляет всего 3-6 % от нагрузки 1950-1960 гг (см. выше). Прозрачность воды возросла до 9.0-12.5 м. Концентрация общего фосфора не превышает 3-5 мкг/л за период март, май – октябрь (1981-1995). В озере отмечается довольно высокая концентрация общего азота 610-740 мкг/л за тот же период, причем основную часть общего азота составляют нитраты -380-512 мкг/л. Соотношение общего азота и общего фосфора – от 80 до более 100, аналогичное соотношение общего азота и фосфора отмечено в оз. Венерн. Вся водная толща хорошо насыщена кислородом – 9.4 -

13.3 мг/л. Величины рН изменяются в пределах 7.4-7.8. Перманганатная окисляемость составляет всего 6.3 – 8.1 мг О/л (Weyhenmeyer, 2004). Все эти показатели характеризуют высокое качество воды, что подтверждает оценка содержания токсических веществ и в первую очередь хлорорганических соединений.

В 1926 г. на северном побережье озера был построен второй (первый был построен в 19 веке на южном берегу озера) бумажный завод, где использовали хлор и его производные для отбеливания бумаги. Строительство привело к большому выбросу хлорорганических соединений в озеро, включая диоксины. Только к 1995 г. количество выбрасываемых токсических веществ удалось наконец сократить значительно. За период от 1960 до 1995 г. концентрация ДДТ в рыбе уменьшилась и составила 13% (0.85 мкг на 1 г веса), а полихлорбифенилов – 5.4 % (5.6 мкг на 1 г) от начальных концентраций (Lindell et al., 2001). Озеро подвергалось также загрязнению цинком, который добывается на его северной стороне, но в настоящее время поступление токсичного металла в озеро сокращено (Willen, 2001a).

Низкое содержание биогенных элементов и особенно фосфора отразилось на количественных показателях фитопланктона. Биомасса фитопланктона и содержание хлорофилла «а» в озере в последние десятилетия остаются низкими. В его южной части, где пробы отбирались через каждые три недели в течение всего вегетационного периода, концентрация хлорофилла изменялась в пределах 1.09-1.37 мг/м<sup>3</sup>. Биомасса фитопланктона почти всегда была ниже 0.5 мг/л (Willen, 1975). Весной, как правило, доминировали диатомовые водоросли, причем их биомасса зависела от того, был на озере ледостав или нет, хотя это различие было не так резко выражено, как в оз. Венерн. После ледостава общая биомасса фитопланктона в мае в среднем за период 1979-2002 составляла 0.06 мг/л, а при отсутствии ледостава – 0.10 мг/л, при этом биомасса диатомовых составляла, соответственно, 0.03 и 0.05 мг/л (рис.4.45). Из диатомовых наиболее четко изменялась биомасса *Aulacoseira islandica*: после замерзания озера она составляла в мае 0.002 мг/л, в отсутствие ледостава - 0.009 мг/л. Другие доминирующие весной диатомовые – *Melosira islandica*, *Asterionella formosa*, *Diatoma elongatum*, *Cyclotella comensis*. В остальные сезоны вегетационного периода доминировали хризофитовые и криптофитовые. Годовая

первичная продукция фитопланктона составляла 40 г С/м<sup>2</sup> (1978 г.).

Зоопланктон в озере представлен практически теми же видами, что и в оз. Венерн: копеподы (*Eudiaptomus gracilis*, *Eurytemora lacustris*, *Cyclopidae* spp.), клadoцеры (*Eubosmina coregoni*, *Daphnia cristata*), коловратки (*Polyarthra vulgaris*, *Keratella cochlearis*, *K. longispina*) (Data Book..., 1989).

Среди донных организмов присутствуют ледниковые реликты амфиподы *Pontoporeia affinis*, *Gammaracanthus lacustris*, *Mysis relicta*. Наиболее распространена *P. affinis*, которая составляет почти 50% от общего числа бентосных организмов. Так же как и в оз. Венерн, численность *P. affinis* в отдельные годы достигала 2000 экз./м<sup>2</sup>, в другие – всего 500 экз./м<sup>2</sup>, причем периоды ее максимального и минимального развития в обоих озерах совпадали (Johnson, Wiederholm, 1990). Из других видов донных организмов следует назвать: Oligochaeta (*Stylodrilus heringianus*, *Spirosperma forex*, *Limnodrilus profundicola*, *Tubifex tubifex*), Diptera (*Heterotrissocladius suspilosus*, *Paracladopelma obscura*), Bivalvia (*Pisidium conventus*).

Рыбное население представлено 30 видами. Холодноводное и глубоководное оз. Венетерн является местом обитания реликтового арктического хариуса (*Salvelinus alpinus*), некоторых видов сигов (*Coregonus* spp.), форели, которые имеют большое промысловое значение. Здесь также широко представлены корюшка, окунь, щука. Годовой уловы рыбы на протяжении многих лет держатся на одном уровне – около 250 тонн.

В настоящее время озеро является объектом туризма и рекреации (плавание, парусный спорт, спортивное рыболовство). Население на водосборе озера не превышает 210 тыс. человек, причем около 80% из них проживает в городах. Почти полная очистка промышленных, муниципальных и сельскохозяйственных сточных вод позволяет озеру сохранять экологические условия, близкие к природным.

#### 4.17. ОЗЕРО МЕЛАРЕН (МАЛЯРЕН)

Озеро Меларен является третьим по площади озером Швеции и расположено в юго-западной части страны (табл. 4.5). Его координаты 59°14' - 59° 48' с.ш. и 16° 04' - 18° 00' в.д. Озеро

является очень сложной водной системой, состоящей из заливов различного характера, плесов. Большое количество островов до 1416 (площадью более 25м<sup>2</sup>) также усложняет систему (рис. 4.47). На основе топографических особенностей озеро подразделено на пять частей, каждая из которых имеет характерный химический и биологический режим. Столица Швеции город Стокгольм с населением около 700 тыс. человек расположена на выходе из оз. Меларен в Балтийское море. Для того, чтобы соленые воды из Балтийского моря не поступали в озеро, в 1940-х годах озеро было зарегулировано. В настоящее время диапазон ежегодных колебаний уровня воды составляет 0.5 м. 75% притока в озеро поступает в его западную часть, остальной приток – в северо-восточную. Это означает, что вода перед попаданием в Балтийское море течет в двух направлениях – с запада на восток и с севера-востока на юг. Сток из озера осуществляется по реке Норрстрем в Балтийское море. Озеро димиктическое и полностью перемешивается весной и осенью. Как правило, оно замерзает, и ледостав длится в среднем 3.5-4 месяца.

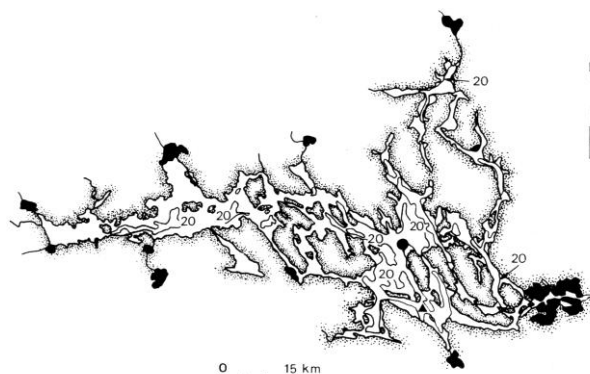
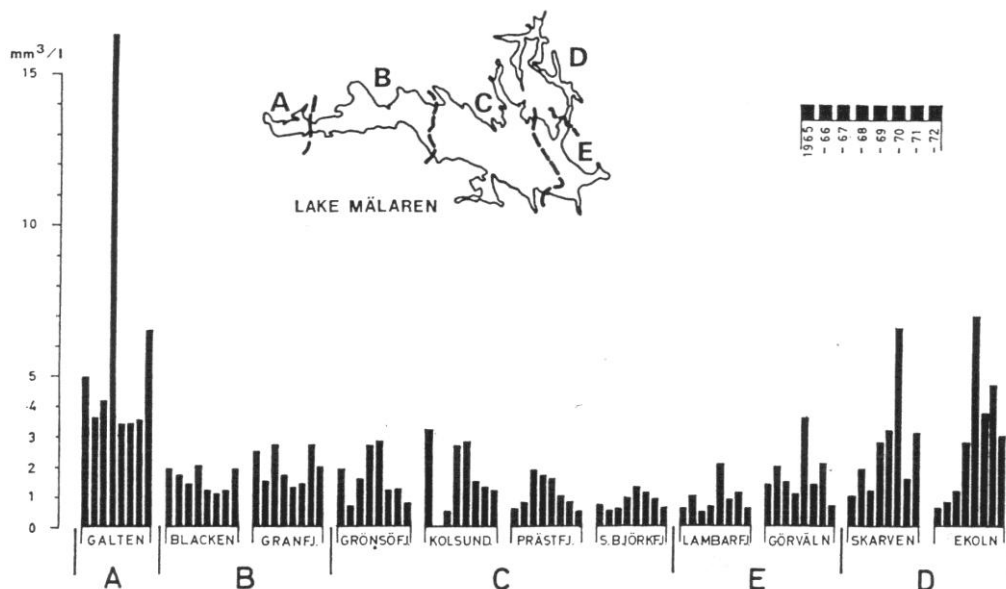


Рис. 4.47. Глубины оз. Меларен. Источник: Willen, 1975.

В отложениях на водосборе озера, особенно в его северо-восточной и южной частях, доминируют богатые известняковые глины, создающие хорошие условия для ведения в регионе сельского хозяйства. Центральная Швеция представляет собой высоко освоенный в сельскохозяйственном отношении район, где использование неорганических удобрений увеличивает поступление биогенных элементов в озеро. Водосбор, занимающий 5 % территории Швеции, почти в 20 раз превышает площадь самого озера, что делает его влияние на качество воды



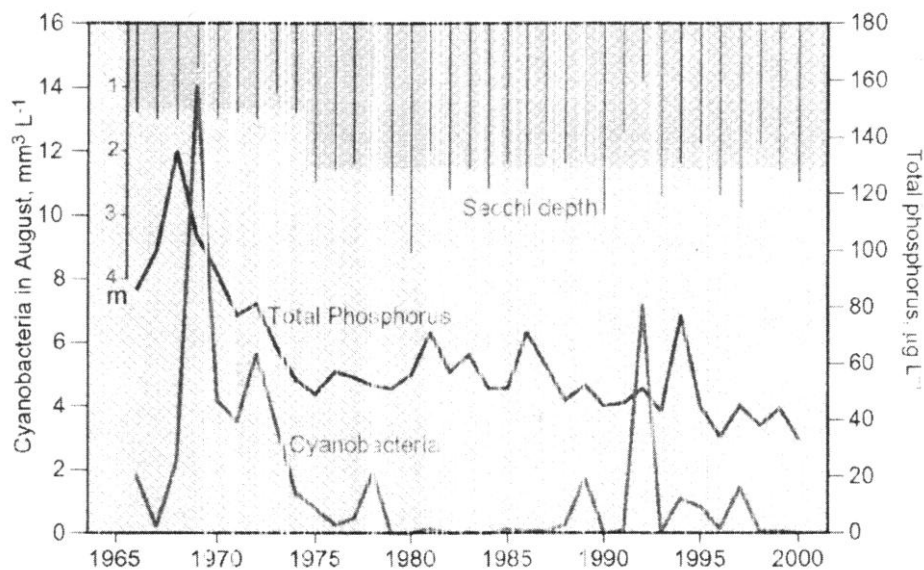
**Рис. 4.48.** Биомасса фитопланктона в различных частях оз. Меларен, Май-Октябрь 1965-1972 гг. Источник: Willen, 1975.

чрезвычайно существенным.

Водосбор озера начал осваиваться раньше других территорий, здесь сохранились памятники древнейших поселений и результаты культивирования земельных угодий. Быстро росло население, плотность которого и сейчас остается наибольшей. Начали разрабатываться полезные ископаемые и в первую очередь железо. Металлургическая промышленность продолжает активно развиваться до сегодняшнего дня. Первые гидроэлектростанции начали строиться на притоках оз. Меларен. В результате активного антропогенного воздействия исследования 1965-1967 гг. выявили, что озеро находится в чрезвычайно плохом состоянии. Высокая биогенная нагрузка привела к цветению воды в течение всего летнего периода, в придонных слоях воды почти полностью отсутствовал кислород. Среди синезеленых водорослей, вызывающих цветение воды, оказалось много токсичных видов. Прозрачность воды не превышала 1.5 м по диску Секки. Публикация первых данных по состоянию озера вызвала негативную реакцию населения, назвавшем оз. Меларен «сточной канавой». Уже в 1969 г. был принят закон по охране озера, после чего были приняты меры по очистке сточных вод как промышленных, так и коммунальных. Восточная часть озера улучшила свое состояние после того, как в 1970-1980 гг. муниципальные сточные воды были выведены в Балтийское море.

Очень большое различие между разными частями озера не позволяют говорить о каких-то средних значениях. Как видно из рис. 4.48, биомасса фитопланктона в 1965-1972 гг. была наибольшей в западном и северо-восточном районах, наименьшей – в центральном плесе, причем различие было существенным: максимальные значения в западном районе достигали 17 мг/л, а в центральном – 3 мг/л (Willen, 1975). Такое различие в величинах биомассы фитопланктона было связано с различной биогенной нагрузкой на эти районы. В самом загрязняемом западном районе озера годовая фосфорная нагрузка в 1965-1971 гг. составляла 3.6 г/м<sup>2</sup>, азотная нагрузка – 71.8 г/м<sup>2</sup>, тогда как в центральном бассейне эти величины соответственно были равны 0.7 и 13.2. Значительная нагрузка биогенными элементами на западный район озера привела к массовому развитию здесь синезеленых водорослей, достигающих 35-55% от общей биомассы, тогда как в центральном бассейне – только 2-11%. Величины хлорофилла «а» в этих районах также значительно различались – 29-34 и 6.2-9.7 мг/м<sup>3</sup>, соответственно (Ahl, 1975).

Принятый в 1969 г. закон об охране озера, предусматривающий сокращение поступления в него биогенных и токсических веществ, привел к значительному улучшению экологического состояния озера. Это видно на примере сильно загрязняемого северо-восточного района озера



**Рис. 4.49.** Содержание общего фосфора, биомассы синезеленых водорослей и прозрачность воды оз. Меларен. Источник: Willen, 2001.

(рис. 4.49). Уже к 1975 г. концентрация фосфора уменьшилась здесь до 40 мкг/л против 130 мкг/л в 1967 г., а в 1995 г. стала 25 мкг/л, увеличилась прозрачность воды от 1.5 м до 3.8 м по диску Секки, уменьшилось количество синезеленых водорослей (Willen, 2001a). В западном районе концентрация общего фосфора сократилась до 50 мкг/л в 1995 г. против 120 мкг/л в 1970 г. (Wilander, Persson, 2001).

Средние гидрохимические показатели за период март-октябрь 1981-1995 гг в различных районах озера были следующими: в западном районе концентрация общего фосфора составляла 24-67 мкг/л, общего азота - 621-1654 мкг/л, активного кремния 0.2-3.1 мг/л, прозрачность воды - 0.6-1.9 м. Эти же показатели в северо-восточном районе озера составляли, соответственно - 30-81, 912-2370, 1.4-4.3, 1.2-2.7. В центральном районе озера, соответственно - 15-39, 501-942, 0.1-1.1, 1.9-3.9. Содержание кислорода в водной толще озера было достаточно высоким, даже в западном и северо-восточном районах и не опускалось ниже 7.9 мг/л (Weyhenmeyer, 2004). На примере соотношения азота к фосфору можно проследить, как изменялся уровень трофности озера. Так, в 1965-1970 гг это соотношение в западном районе составляло 10-15, в 1970-1980 гг - 25-85, и 1980-1995 гг - 30-70, то есть уже в 1970-х годах улучшилось экологическое состояние этого загрязняемого района (Wilander, Persson, 2001).

Западный и северо-восточный районы озера все еще остаются загрязненными, хотя в зна-

чительно меньшей степени, чем в конце 1960-х годов. Здесь также более высокая биологическая продуктивность, о чем свидетельствуют данные по концентрации хлорофилла «а». Так, в западном районе в настоящее время концентрация хлорофилла составляет 2.2-32.9, в северо-восточном - 0.9-23.1, а в центральном - 1.2-9.5 мг/м<sup>3</sup>. Только центральный район можно отнести к мезотрофным водоемам, хотя и в других районах трофический уровень приближается мезотрофному уровню. Если раньше цветение воды вызывало массовое развитие *Microcystis* и *Anabaena* spp., то в настоящее время эти водоросли практически исчезли и встречаются лишь в отдельных заливах. Уменьшилось количество диатомовых, но возросла численность флагаеллят, принадлежащих к Chrysophyta, Cryptophyta и Dinophyta. С 1970 г. в центральном и восточном районах озера заметно возросла численность десмидиевых *Closterium aciculare* и *Cl. acutum* до 100-300 тыс. клеток в 1 мл, что указывает на улучшение качества воды озера. Значительно увеличилось число видов водорослей. Биомасса фитопланктона на 50% уменьшилась в гипертрофных и стратифицированных северо-западных районах, но в мелководных западных районах это сокращение было значительно меньше (Pollinger, 1990).

Распределение зоопланктона по акватории озера, как и других биологических и химических показателей, было неравномерным. В 1965-1966 гг по биомассе в озере доминировали Cladocera, особенно в западном районе,



наибольшее значение в центральном районе имели Rotatoria, а биомасса Copepoda увеличивалась в восточном и северо-восточном районах озера (*Cyclopidae* spp., *Eudiaptomus gracilis*). Среди коловраток по биомассе по всему озеру доминировала *Synchaeta*, к которой в западном районе добавлялась *Asplanchna priodonta* и *Keratella cochlearis*, а в северо-восточном - *Polyarthra vulgaris* и *Keratella cochlearis*. Из кладоцер по всему озеру встречались *Daphnia galeata* и *D. cristata*, кроме них в восточном и северо-восточном районе встречалась *D. cucullata*, а в центральной части - *Bosmina coregoni*. Биомасса зоопланктона колебалась в пределах 0.96-2.75 г/л. По мере улучшения экологического состояния биомасса зоопланктона уменьшалась и сокращался его видовой состав, в основном за счет коловраток и кладоцер (Willen, 1975, Willen, 2001a).

Доминирующими группами донных организмов в озере являются Crustacea, Chironomidae и Oligochaeta. В конце 1960-х – начале 1970-х гг. реликтовая амфипода *Pontoporeia affinis* занимала ведущую роль среди макрозообентоса и составляла почти 42% от общей численности, а вместе с олигохетами – до 90%. Максимальное содержание *P. affinis*, свыше 15 тыс. экз./м<sup>2</sup> наблюдалось в 1971 г. на глубине 50 м. После чего она либо полностью исчезла в центральной части озера, либо встречалась единично, что, как правило, связывают со значительным ее потреблением рыбами. К середине 1970-х годов, когда улучшилось экологическое состояние озера, в центральной части озера увеличилось количество олигохет до максимальных значений 3.1-4.4 тыс. экз./м<sup>2</sup>, а также хирономид до максимальных значений 1.1-1.9 тыс. экз./м<sup>2</sup> (Wiederholm, 1978). Хотя численность олигохет увеличилась во всех районах озера, наиболее четко это отмечалось в северо-восточном районе, где численность олигохет в 1972 г. возросла до 81.1 тыс. экз./м<sup>2</sup> против 23.7 тыс. экз. в 1969 г. (Willen, 1975). Из вселенцев следует назвать дрейссену (*Dreissena polymorpha*), которая создает некоторые проблемы в озере.

Из рыбного населения промысловое значение имеют судак, ряпушка, угорь, щука, окунь. Годовая рыбная продукция составляет 370 тонн (1986 г.). На протяжении последних десятилетий уловы рыбы колебались в близких пределах (Data Book..., 1989).

После принятия срочных мер по восстановлению качества воды в озере, прежде всего за счет создания и развития в бассейне систем очистки коммунальных и промышленных стоков, экологическое состояние озера значительно улучшилось. Это позволило активно развивать здесь туризм и рекреацию (плавание, спортивное рыболовство, яхтенный спорт).

#### 4.18. ОЗЕРО ЭЛЬМАРЕН

Озеро Эльмарен является четвертым по площади озером в Швеции (табл. 4.5). Его координаты – 59° 08' - 59° 18' с.ш. и 15° 13' - 16° 19' в.д. Это большое мелководное озеро, которое постоянно перемешивается и даже летом не стратифицировано. Наибольшие глубины характерны для его центральной части. Озеро состоит из 4 основных плесов, отделенных друг от друга островами (рис. 4.50). Озеро зарегулировано, и амплитуда колебания его уровня составляет 0.5 м. Оно регулярно замерзает, период ледостава - 4-5 месяцев.

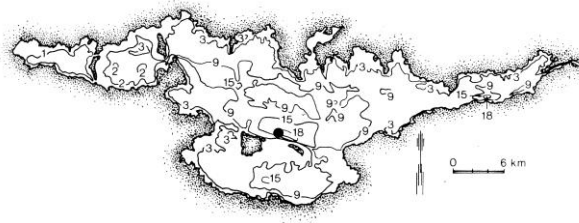


Рис. 4.50. Батиметрическая карта оз. Эльмарен. Источник: Data book..., 1987-1989.

В отложениях вокруг озера доминируют богатые известняком глины, способствующие плодородию почв региона и интенсивному развитию сельского хозяйства. Антропогенное воздействие в основном определяется поступлением стоков с сельскохозяйственных угодий, а также бытовых и промышленных стоков г. Эребру, расположенного в западной части озера.

По наблюдениям, проведенным в 18 веке, озеро было прозрачным, и вода имела хороший вкус, хотя в результате сильного ветрового перемешивания часто повышалась ее мутность. Озеро характеризовалось высокой биологической продуктивностью и хорошими уловами рыбы. Цветение воды было обычным явлением на протяжении всего вегетационного периода (Data Book..., 1989).

В настоящее время используются новые технологии очистки коммунальных и промышленных стоков. Локальные системы очистки охватывают 100% муниципального и более 90% сельского населения. Тем не менее, озеро по многим показателям остается эвтрофным, что связывают с высокой степенью сельскохозяйственной освоенности бассейна озера. Прежде всего, здесь отмечаются высокие концентрации биогенных элементов, хотя в самых загрязненных местах они в последнее время уменьшились. Поступление азота и фосфора с сельскохозяйственных полей и сточных вод соответственно в 3 и 5 раз превышает естественное их поступление (с неосвоенных почв и лесных массивов). Для сравнения в оз. Веттерн это превышение равно 2 (Ahl, 1975). По акватории озера содержание биогенные элементы распределяются неравномерно. В наиболее загрязненном участке на западе озера (залив Хемфьорден) концентрация фосфора в 1970 -е гг. превышала 300 мкг/л, а в основном бассейне – 50-60 мкг/л. К середине 1980-х гг. в заливе удалось снизить содержание фосфора до 100 мкг/л, а к началу 2000-х гг. - до 75 мкг/л. Однако в основном бассейне концентрация фосфора оставалась на уровне 45-50 мкг/л, то есть озеро на протяжении всех этих лет сохраняло свой эвтрофный статус (Wilander, Persson, 2001). Концентрация общего азота в западной части озера в 1966-1973 годах была очень высокой – до 1.5-2.5 мг/л, а в основном бассейне 0.5-1.0 мг/л. В 1980 – х годах в основном бассейне концентрация азота сохранилась на уровне 0.6-1.0 мг/л (Data Book ..., 1989). Соотношение общего азота и общего фосфора, которое является хорошим показателем уровня трофии водоема, за период 1965-1995 гг. в западной наиболее загрязняемой части озера колебалось в пределах 5-20, а в основном центральном бассейне - 10-30. Хотя эти соотношения несколько различаются, тем не менее, они соответствуют эвтрофным и гипертрофным водоемам (Wilander, Persson, 2001). Несмотря на сокращение фосфорной нагрузки на озеро, высокая концентрация фосфора в воде поддерживается поступлением его из донных отложений. Как положительный момент, следует отметить сокращение содержание фосфора в донных отложениях в ряде частей озера которое за последние 11 лет уменьшилось почти вдвое – с 2.3 до 1.0 мг Р на 1 г отложений (Willen, 2001a).

Прозрачность воды по диску Секки в цен-

тральной части озера изменяется от 1.5 м летом до 3.5 м зимой. Реакция воды нейтральная, рН варьирует в пределах 7.2-7.8. Перманганатная окисляемость – 22-40 мг О/л.

Хорошая обеспеченность озера биогенными элементами способствует массовому развитию биологических сообществ. Макрофиты представлены преимущественно воздушно-водными растениями (*Phragmites australis*) и растениями с плавающими листьями (*Nuphar luteum*). В фитопланктоне в настоящее время доминируют из синезеленых *Microcystis aeruginosa*, *Gomphosphaeria naegeliana*, из диатомовых *Melosira islandica*, *M. granulata*, *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus rotula*, *S. hantzchii*, из криптофитовых *Rhodomonas lacustris*, из динофитовых *Ceratium hirundinella*. В 1950-е годы отмечалось массовое развитие *Gloeoetrichia echinulata*, *Volvox aureus*, но к 1970 году они практически исчезли, и в массе стали развиваться мелозира, анабена, афанизоменон, осциллятория, при этом максимальная биомасса достигала 15-22 мг/л в западном районе и 3-7 мг/л в основном бассейне (Willen, 1972). В среднем за период 1966-1973 гг. значения хлорофилла «а» в западных заливах около г. Эребру составляли 112-154 мг/м<sup>3</sup>, это были самые высокие цифры за весь период исследования, в основном бассейне озера они были равны 15 мг/м<sup>3</sup>. Годовая первичная продукция в этот период в основном бассейне также была высокой 170 г С/м<sup>2</sup> (Willen, 1975). В 1981-1985 гг. в мае-сентябре величины хлорофилла в основном бассейне колебались в пределах 4.7-19.9 мг/м<sup>3</sup>, то есть мало изменились по сравнению с предыдущим периодом. Тем не менее по некоторым показателям наблюдается некоторое улучшение экологической ситуации в озере: уменьшается биомасса синезеленых водорослей (с 1.8 мг/л в 1970-1975 гг до 0.1-0.3 мг/л в 1990-1995 гг.) и сокращаются периоды весеннего цветения воды за счет массового развития диатомовых (Willen, 2001b).

В зоопланктоне преобладают: копепода (*Cyclopidae* spp., *Eudiaptomus gracilis*), кладоцера (*Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata*), коловратки (*Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Kellicottia longispina*). В течение последнего времени наблюдается некоторое изменение видового состава в сообществе кладоцер и коловраток.

В отличие от предыдущих озер в донных

сообществах оз. Эльмарен в основном присутствуют хирономиды (*Chironomus plumosus*, *Procladius* spp.), олигохеты (*Potamothrix hammoniensis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*) и моллюски (*Pisidium casertanum*). Существенных изменений в донных сообществах не наблюдается, для этого, скорее всего, нужен более длительный период восстановления озера.

Из рыбного населения имеют промысловое значение судак, щука, угорь и окунь. В 1960-х годах уловы рыбы превышали 300 тонн/год, а в

1980-х они сократились до 125-220 тонн (Data Book..., 1989).

На водосборе озера проживает немногим более 220 тыс. человек. Промышленные, коммунальные стоки почти полностью очищаются, что улучшает экологическое состояние озера, особенно его западного района, где расположен г. Эребру, наиболее подверженного загрязнению. Тем не менее, озеро остается эвтрофным. Озеро используется для туризма, рекреации, спортивного рыболовства.

## Глава 5. БОЛЬШИЕ И СОЛЕННЫЕ

Большинство озер Земли являются пресными, однако широкое распространение имеют и минеральные (солёные) озера. Чаще всего они расположены в бессточных бассейнах, в аридных и субаридных регионах. Здесь, в связи с отсутствием оттока и значительным испарением, происходит постепенное накопление солей, порой до очень высоких концентраций. В ряде случаев солёные озера расположены и в гумидных областях. В таких случаях они либо не утратили своей постоянной (лагуны, лиманы, фьордовые озера) или эпизодической (озера некоторых арктических островов и побережий) связи с морем, либо представляют собой реликт существовавшего здесь в сравнительно недавнем прошлом морского водоема, в связи с геологическими процессами отделившегося от мирового океана. По суммарному объёму содержащейся воды солёные озера лишь немного уступают пресным, прежде всего благодаря огромному объёму воды, содержащемуся в самом крупном озере мира – Каспийском море (78081 км<sup>3</sup> или около 90% от суммарного объёма солёных вод, заключённых во внутренних водоемах суши). В зависимости от величины минерализации озера подразделяются на солоноватые (до 35 промилле) и солёные (свыше 35 промилле). По химическому составу они делятся на карбонатные (содовые), сульфатные (горько-солёные) и хлоридные (солёные).

Среди 50 крупнейших озер мира, рассматриваемых в данной книге, 4 являются солёными и 6 солоноватыми. Кроме того, на протяжении второй половины XX в. по мере усыхания оз. Арал превращалось из солоноватого водоема в солёный; на сегодняшний день Малый Арал остается солоноватым, тогда как остаточные водоемы на месте Большого Арала являются гиперсолёными. Непосредственно в данной главе рассматриваются лишь три озера: два наиболее показательных гиперсолёных водоема – Большое Солёное (США) и оз. Эйр (Австралия), а также уникальное в своем роде оз. Балхаш: часть которого содержит почти пресную воду, а часть — солоноватую. Остальные минеральные озера описаны в других главах данной книги: оз. Рудольф в главе «Крупнейшие озера рифтовых областей», оз. Каспий и Маракайбо в главе «На месте древнейших морей», оз. Кукунор, Иссык-Куль, Урмия и Ван в главе «Крупнейшие высокогорные» и оз. Арал в

главе «Озера, которые мы потеряли».

### 5.1. БОЛЬШОЕ СОЛЁНОЕ ОЗЕРО

Большое Солёное озеро – солёное озеро, расположенное в северо-западной части штата Юта (США), на востоке Большого Бассейна (рис. 5.1). Его координаты: 40°38'-41°44'с. ш.; 111°53'-113°04'з. д., урез воды находится на высоте 1280 м над уровнем моря. Это самое большое озеро западной части США и самое большое солёное озеро Западного полушария (Waddell et al., 2009). Озеро слегка вытянуто с северо-запада на юго-восток, на нем 11 островов, однако при низком уровне большинство из них соединяется с сушей. Самый крупный - о-в Антилоп. С запада вплотную к озеру подходит необитаемая пустыня.

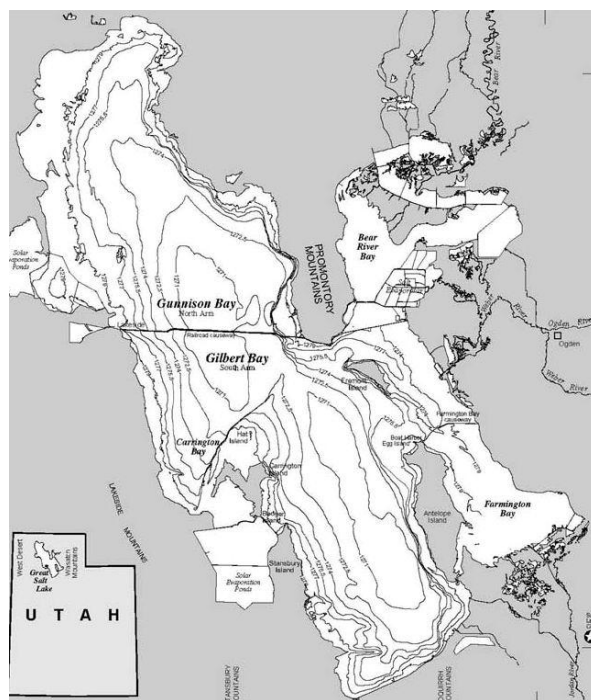


Рис. 5.1. Большое Солёное озеро. Источник: Basken & Allen, 2005

Большое Солёное Озеро является остатком более древних водоемов, существовавших в Большом Бассейне в течение прошедших 15 млн. лет, и, в результате значительных климатических изменений, последовательно сменявших друг друга. В том числе оно является непосредственным наследником древнего огромного пресного оз. Бонневилл, не имевшего стока в океан и покрывавшего в период плейстоцена, 30000 - 14000 лет назад, большую часть современного штата Юта, а также часть штатов Айдахо и Невада. По своим размерам и по

глубине оз. Бонневилл превосходило оз. Мичиган. Оно протягивалось на 500 км в длину при ширине около 200 км, его глубина составляла около 300 м (Scott et al., 1983, Spenser et al., 1984). После отступления ледника, сопровождающегося аридизацией климата, оз. Бонневилл стало постепенно сокращаться в размерах. В результате на сегодняшний день его остатками являются Большое Соленое озеро, а также меньшие по площади озера - Юта, Севьер, Раш и Малое Соленое.

Находясь в районе с неустойчивыми осадками и занимая неглубокую котловину, Большое Соленое озеро год от года может сильно изменяться по площади. Согласно данным измерений в 1850 г. площадь озера составляла 4600 км<sup>2</sup>, к 1873 г. она увеличилась до 5700 км<sup>2</sup>, к 1900 г. озеро почти полностью пересохло, но уже к 1925 г. площадь вновь приблизилась к 5000 км<sup>2</sup>. Очень низкая площадь зеркала озера наблюдалась в 1963 г. и составляла 2460 км<sup>2</sup>, максимального значения озеро достигло в 1987 г. - 8547 км<sup>2</sup> (Arnow, 1985). Объем заключенной воды на протяжении периода измерений изменялся от 10 до 50 км<sup>3</sup>, а средняя глубина от 4.0 до 7.5 м, максимальная глубина - 15 м (Hassible., Keck, 1993). Площадь озера при рассчитанной средней высоте уровня в 1281 м, составляет около 4400 км<sup>2</sup> (Waddell et al., 2009). Благодаря значительным колебаниям уровня озеро окружают обширные водно-болотные угодья, являющиеся местообитанием богатейшего птичьего населения. В зависимости от колебаний уровня происходят изменения солености воды озера, изменения его размеров и типов обитания в устьевых участках рек и в прибрежной зоне.

Через озеро проходит линия Южной Тихоокеанской железной дороги, огибающей его восточный и южный берег, и частично проложенной по искусственной дамбе, вдающейся в озеро. В результате железнодорожная дамба разделяет озеро на три участка: северо-восточный, северо-западный и южный рукава, предотвращая смешивание вод между ними. Наиболее соленым является северо-западный рукав, не получающий постоянного пресного притока. Наиболее опресненный - южный рукав, получающий максимум притока и, в связи с этим, даже имеющий более высокие уровни, на 15-50 см выше, чем в северных рукавах (Arnow et al., 1990).

### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Испанские поселенцы узнали о существовании Большого Соленого оз. от коренных американцев еще в 1776 г., однако они никогда не выходили к его берегам. Первым белым человеком, увидевшим Большое Соленое оз., был Джим Брайджер, достигший его берегов в 1825 г. Первая научная экспедиция на озеро была организована в 1843 г. Джоном К. Фремонтом (Morgan, 1947). С середины XIX в., после прихода на озеро мормонов, его водосбор начал активно заселяться. Используя искусственное орошение, выходцы из Европы создали на окружающей озеро пустынной местности сельскохозяйственные поля. На р. Джорджон был основан самый крупный в бассейне город - Солт Лейк Сити, ставший столицей шт. Юта.

Большое Соленое озеро играет важную роль в жизни людей, обитающих по его берегам. Питающие его реки являются источником водоснабжения. Само озеро служит источником глауберовой и поваренной соли, общие запасы которых оценивались на конец XX в. в 5 млрд. тонн. Велика роль озера в формировании местного климата. Прежде всего, наличие озера сказывается на увеличении числа снеговых осадков на подветренном склоне окружающих его гор. Благодаря холодным северным, северо-западным и западным ветрам, возникающим над озером при прохождении холодных фронтов, и температурным различиям между теплой водой и холодным воздухом над озером формируются облака, проливающиеся дождями или снегопадом на ближайшие горные склоны. Особенно четко снеговой эффект озера наблюдается в осеннее и весеннее время, когда разница между температурой воды и воздуха наибольшая.

### *Климат. Характеристики термического режима*

Озеро расположено в регионе с резко континентальным климатом, характеризующимся холодными малоснежными ветренными зимами и жарким летом, и отличающимся неустойчивостью погодных условий. На рис. 5.2 представлены среднегодовые параметры климата в регионе. Температура воды изменяется в течение года в широких пределах, от значений близких к 0 до 27°C.

Среднегодовые параметры климата, Большое Солёное Озеро, Солт Лейк Сити

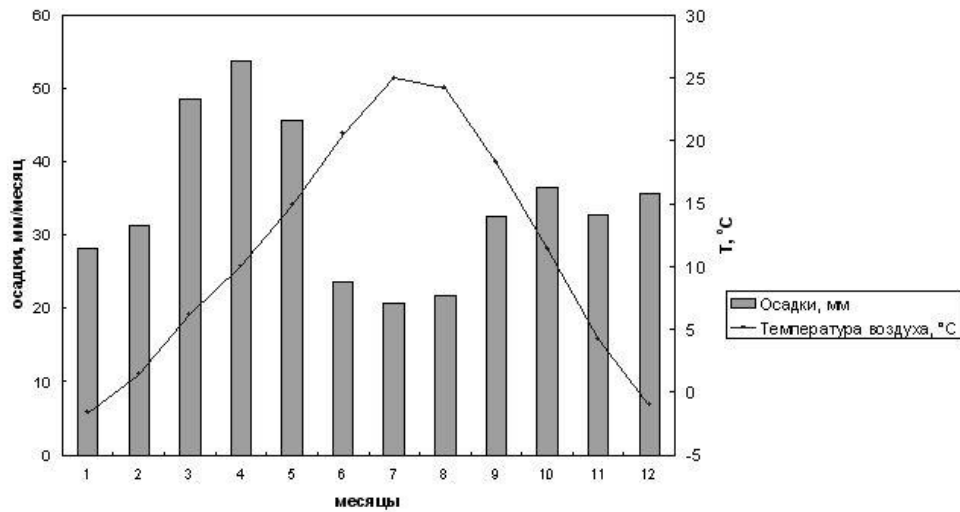


Рис. 5.2. Среднегодовые параметры климата региона Большого Солёного озера.

График уровня воды оз. Б. Солёное, 1850-2010 гг.

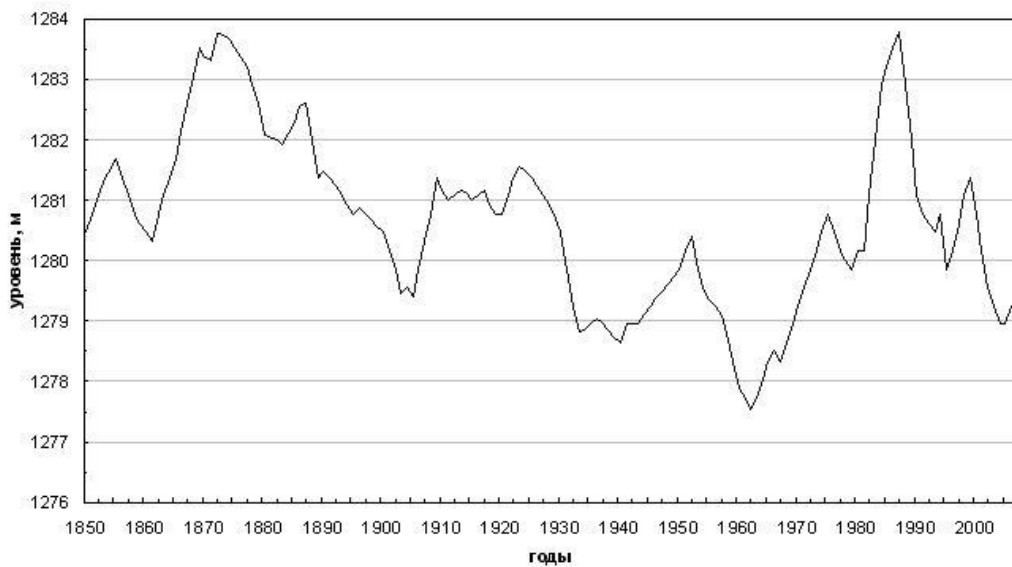


Рис. 5.3. Изменения уровня Б. Солёного озера с 1850 по 2010 гг по данным Hassible., Keck, 1993, и USGS (спутников TOPEX, Jason-1).

**Характеристики водного режима и водного баланса**

Озеро бессточное. Оно питается водами впадающих в него рек и временных водотоков. Площадь его водосбора составляет 89000 км<sup>2</sup>, причем эффективная площадь - только 55000 км<sup>2</sup> (Waddell et al., 2009). Значительная часть водосбора к западу от озера представляет собой пустыню, которая практически не дает никакого притока, за исключением небольших род-

ников, разгружающихся в озеро в годы высокой водности (Lall и Mann, 1995). Большинство притоков впадают в южную и восточную часть озера, наиболее крупными являются реки Бэр и Вебер, стекающие с гор Уосатч и Уинта, а также р. Джордан, берущая начало в пресноводном оз. Юта. Поверхностный приток составляет 66% приходной части водного баланса, осадки на поверхность озера 31% и 3% приходится на грунтовый приток. Расходная часть баланса состоит исключительно из испарения. Наиболь-

ший приток воды поступает в озеро летом и связан со снеготаянием в горах Уосач. Благодаря снеговому питанию уровень озера повышается в среднем на 40 см.

Уровень воды Большого Соленого озера сильно варьирует год от года, находясь в тесной зависимости с количеством выпадающих в бассейне осадков (рис. 5.3). Даже небольшие колебания уровня сопровождаются значительными изменениями площади водоема. За 150-летний период наблюдений колебания уровня воды в озере составили около 6 м, от 1278 до 1283 метров.

Максимальный подъем уровня озера наблюдался в 1980-е гг, он начался с его постепенного повышения в 1983 г. и достиг наибольшего значения в 1987 г (рис. 5.4). Чрезвычайно высокие уровни привели к значительному ущербу на восточном побережье озера, оцениваемому в 350 млн. \$US за год. Кроме значительных потерь, понесенных собственниками, особую опасность представляла угроза размыва автомагистрали, проложенной между штатами, и остановка железнодорожного сообщения. Для снижения ущерба шт. Юта разработал проект по строительству насосов, перекачивающих озерную воду на запад, в дикую пустынную область по каналу длиной более 6 км. Было установлено три насоса, в результате работы которых было перекачено 3.4 км<sup>3</sup> воды (Fact Sheet...). Стоимость проекта оценивалась около 60 млн. долларов США. Проект был приостановлен в 1989 г., после того как уровень озера упал на 2 м. В настоящее время насосы не используются, но готовы к эксплуатации в случае очередного подъема уровня.



**Рис. 5.4.** Спутниковая фотография Большого Соленого озера в период его максимального разлива, в 1987 г. Фото USGS.

### ***Основные характеристики качества вод***

Большое Соленое озеро характеризуется высоко минерализованной водой, его соленость в зависимости от водности года изменяется от 50 до 300 промилле (Wold et al., 1994) и значительно превосходит соленость морской воды. После разделения озера искусственной дамбой наибольшие значения солености характерны для северо-западного рукава озера, средняя соленость – 240 промилле, тогда как в южной части она составляет 120-150 промилле (рис. 5.5). Из-за высокой минерализации вода Большого Соленого Озера отличается повышенной плотностью, что позволяет сравнивать его с Мертвым Морем. Основными ионами являются натрий и хлор (32.8 и 54.5% от общей суммы ионов, соответственно), характерно более высокое содержание сульфатов (7.2%), магния (3.3%), калия (2%) и очень мало кальция (0.2%).

Для большей части акватории озера характерно равномерное распределение кислорода по водному столбу. Прозрачность воды составляет 1.8 метра, лишь в наиболее загрязненном заливе Фермингтона она ниже, 0.6 м (Marcarelli et al., 2001). Окислительно-восстановительный показатель рН - 8.5. Для озерной воды характерны очень высокие концентрации брома и ртути, составляющей 0.84-30 нг/л. Это значительно выше, чем в других поверхностных водах США (Jones et al., 2009).

По концентрации биогенных веществ и хлорофилла-а Большое Соленое Озеро по большей части своей акватории характеризуется как мезотрофное, тогда как его наиболее загрязненный залив Фермингтона является гипертрофным (Marcarelli et al., 2001)

Основная соль в Большом Соленом оз. накопилась благодаря постепенному испарению вод оз. Бонневилл. Необходимо отметить, что само оз. Бонневилл было достаточно пресным, чтобы в нем водилась рыба. Кроме того, Большое Соленое оз. питают 3 основные реки, также приносящие в него со стоком огромное количество минеральных веществ, около 1.1 млн. тонн в год.

### ***Основные биологические особенности***

Устьевые участки рек, впадающих в Большое Соленое озеро, характеризуются солоноватой водой, приемлемой для развития по его пери-



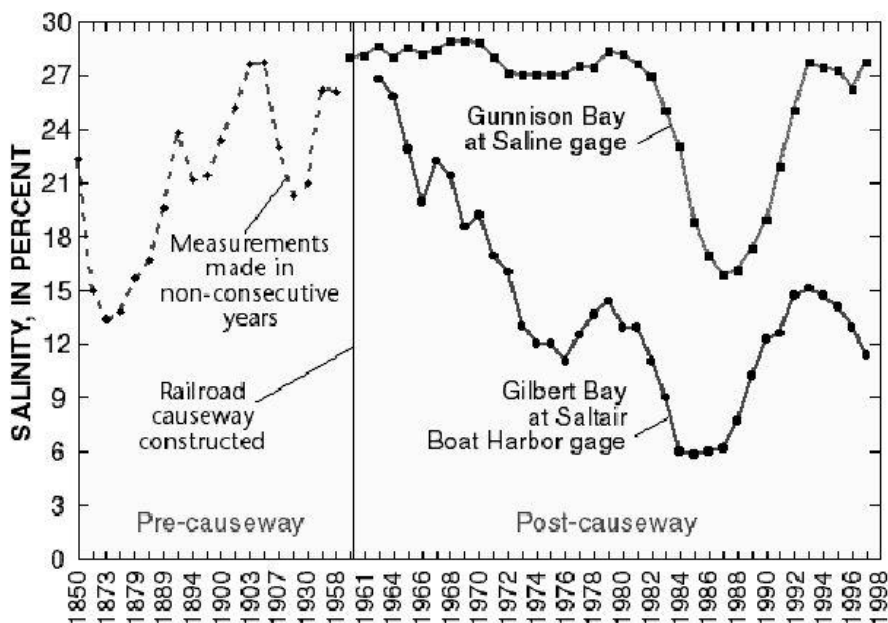


Рис. 5.5. Изменение солености в Б. Соленом озере. Источник: USGS, Utah Water Science Centre.

ферики богатой водной растительности. Здесь произрастают камыш (*Scirpus* spp), рогоз (*Typhus* spp.) различные виды тростника (*Phragmites* spp.), как аборигенные, так и инвазийные (Waddell et al., 2009). Несмотря на то, что озеро отличается очень высокой соленостью, здесь обитает ряд солелюбивых микроорганизмов, большинство из которых, однако, в основном распространены в более пресной южной части озера. Так здесь хорошо представлен фитопланктон, состоящий преимущественно из представителей диатомовых (*Nitzschia* spp) и зеленых водорослей видов *Dunaliella viridis* и *Spermatozopsis* spp., придающих воде зеленоватый оттенок. Сине-зеленые водоросли (*Spirulina major*) обнаружены в водах залива Фермингтона, на большей части акватории в последние годы они отсутствуют, хоть при более низких концентрациях солености сине-зеленые имели активное развитие (Marcarelli et al., 2001). В северной наиболее соленой секции преобладает красная водоросль *Dunaliella salina*, выпускающая бета-каротин и, в сочетании с обитающими здесь бактериями, придающая воде розовый и красноватый оттенок (Gillespie, 1977). Расцвет фитопланктона происходит, прежде всего, за счет активного распространения *Dunaliella viridis* и приходится обычно на конец зимы - раннюю весну, когда температуры воды достаточно низкие. Ежегодная первичная продуктивность в южном

бассейне оценивается в 145 мгС/л (Stephens et al., 1976). Концентрация хлорофилла-а составляет на большей части акватории озера 0.2-12 мкг/л, в заливе Фермингтона 11-70 мкг/л (Marcarelli et al., 2001).

Озерная фауна включает представителя отряда членистоногих крошечную морскую креветку, *Artemia franciscana*, питающуюся фитопланктоном и два вида морской мухи рода *Ephydra gracilis* и *Ephydra hians* (Rawley 1980). Креветка наиболее распространена в южной части озера, но обнаруживается и в северных секциях. Жизненный цикл женской взрослой особи составляет около 3 месяцев, при этом она может достаточно часто производить потомство, содержащее до 300 личинок. Однако в силу низких температур в зимне-весенний период, когда в озере происходит размножение креветки, производится обычно лишь два-три потомства (Stephens, 1974). Мухи живут преимущественно близ побережья и активно распространяются в начале летнего сезона, когда местные пляжи оказываются практически полностью покрытыми только родившимися насекомыми. Из-за высокой солености воды рыба в озере отсутствует. В приустьевых участках рек, питающих озеро, фауна более разнообразная, здесь обитают различные виды семейства комаров-звонцов (*Chironomidae*), гребляков (*Corixidae*) и др. (Waddell et al., 2009).

На озере во время перелета останавливаются огромное количество птиц, пересекающих американский континент, в том числе чилийским фламинго (*Phoenicopterus chilensis*). На озере и на прилегающих к нему болотах зарегистрировано от 2 до 5 млн. ржанок (*Pluvialis* spp.), около 3 млн. поганок (*Podiceps nigricollis*), снежные зуйки (*Charadrius alexandrinus*). Среди водоплавающих птиц: плавунчик Вилсона (*Phalaropus tricolor*), красногорлый плавунчик (*Phalaropus* sp), американская шилоноска (*Recurvirostra americana*), черношея свая (*Himantopus mexicanus*), белолицый ибис (*Plegadis chihi*), калифорнийская чайка (*Larus californicus*), чирок-свистун (*Anas crecca*), северный шилохвость (*Anas acuta*), американский белый пеликан (*Pelecanus erythrorhynchos*) и др. (Paton et al. 1992, Jehl et al. 1998, Fellows et al., 1991). Птицы начинают пребывать на озере в начале весны, используя заболоченные земли как остановку в пути на север континента, однако пик их численности приходится на период между апрелем и сентябрем, когда ежедневно на озере находится около 1 млн. особей. Основным источником пропитания для водоплавающих птиц служит морская креветка и муха.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора Большого Соленого озера составляет 89000 км<sup>2</sup>, на начало XXI в. здесь проживает около 1.7 млн. человек (Fisher 2006). Наиболее заселенным является восточный берег, с запада к озеру практически вплотную примыкает пустыня. На протяжении XIX-XX веков ресурсы региона активно использовались, в XIX в. наиболее активное развитие имело сельское хозяйство, тогда как в XX в. оно стало постепенно вытесняться развитием индустрии. Промышленное развитие сопровождалось ростом городов, увеличением загрязнения и постепенным внедрением очистных технологий. К началу 1970-х годов большинство промышленных предприятий в бассейне уже имели необходимые системы очистки стоков.

Большое Соленое озеро является источником добычи глауберовой и поваренной соли, а также ряда полезных ископаемых как магний, хлор в газообразном состоянии, хлорид магния. Ежегодно здесь извлекается около 2.5 млн. тонн хлорида натрия и других солей. Общий доход от добычи полезных ископаемых на озере

оценивался в 2000 г. в 230 млн. долларов США (Loving et al., 2000). Общие запасы соли по приблизительным оценкам составляют 4.5-4.9 млрд. тонн. Коммерческий интерес представляет обитающая в озере морская креветка, продаваемая в восточных штатах. Ежегодная прибыль от добычи креветки составляла на конец XX века от 8 до 32 млн. долларов. На северном берегу озера найдены месторождения нефти, однако их широкомасштабная разработка признана нерентабельной и добыча ведется лишь небольшими компаниями с 1993 г.

Вокруг озера организован государственный парк Большого Соленого озера, который активно используется для рекреации и туризма, также приносящих хорошую прибыль местной экономики. Однако развитие туристической инфраструктуры сдерживается значительными колебаниями уровня воды озера. Кроме того, негативный эффект на развитие туризма оказывает проявляющееся загрязнение водоема.

#### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

В связи с сельскохозяйственной и промышленной активностью на водосборе, Большое Соленое Озеро подвержено токсическому загрязнению. Со стоками в озеро попадают мышьяк, кадмий, медь, свинец, ртуть, селен и цинк, нефтяные углеводороды, включая многоядерные ароматические углеводороды (ПАХs), многохлорированные бифенилы (PCBs) и пестициды, а также разнообразные загрязнители, содержащиеся в коммунальных стоках. Особенно сильно загрязнение проявлялось до начала 1970-х годов, до широкомасштабного внедрения очистных систем. В связи с проводящейся на сегодняшний день качественной очисткой сточных вод, токсическое загрязнение воды проявляется в небольшой степени, за исключением наиболее загрязненного зал. Фермингтона. Однако, несмотря на невысокое загрязнение, токсические отходы представляет огромную потенциальную опасность, современные очистные сооружения пока не полностью обеззараживают стоки, кроме того, огромную опасность представляют аварийные сбросы.

Проведенные в конце XX в. исследования воды, донных отложений, озерной креветки и обитающих вокруг озера водоплавающих птиц выявили повышенное содержание ряда загряз-

нителей, в том числе селена и ртути (Domagalski et al., 1990 ...). Более поздние исследования (Waddell et al., 2009) также выявили наличие токсичных элементов. В донных осадках южного побережья озера, где расположены предприятия металлургической промышленности было обнаружено повышенное содержание меди, мышьяка, кадмия, селена. Однако в целом, концентрации вредных промышленных загрязнителей в донных отложениях оказались ниже, чем можно было бы ожидать исходя из уровня развития промышленности на водосборе. Так содержание меди в образцах, собранных в открытой части водоема составляло в среднем 49.5 мг/кг, а в прибрежной – 147 мг/кг. Лишь в двух образцах концентрации были предельно высокими – 620 и 1083 мг/кг. Селен практически нигде не превышал порог токсичности в 4.0 мг/кг. Ртуть была обнаружена лишь в половине образцов, отобранных в открытой части водоема, где ее концентрация составляла в среднем 0.186 мг/кг и в 65% образцов в прибрежной зоне (0.20 мг/кг). Ее наиболее высокие концентрации (0.385 - 0.414 мг/кг) были отмечены лишь в 4 из 38 образцов. В приустьевых участках концентрации загрязнителей чаще всего были ниже, чем в самом озере, за исключением наиболее загрязненных участков. Есть предположение, что одной из причин невысокого содержания токсических веществ в воде и донных осадках Большого Соленого озера является высокая степень его самоочищения.

Исследования морской креветки показали, что лишь у взрослых особей содержание бора, ртути и селена превышают нормы, допустимые для питающихся креветкой птиц. Причем повышенное содержание ртути было обнаружено лишь в образцах 1999 г., и не обнаружено в 2000 г. (Waddell et al., 2009). Наиболее загрязненным участком озера согласно большинству проб оказалась южная часть зал. Фермингтона, получающая наибольшее количество сточных вод и характеризующаяся присутствием кислородного дефицита в воде. Исследования печени обитающих на озере поганок, рацион которых состоит преимущественно из креветки, выявило превышение концентрации ртути у половины исследованных птиц, а также превышение концентрации бора и селена. Анализы, собранные в разное время года, различались. Результаты анализов 1996-2000 гг. оказались более оптимистичными, чем результаты предыдущих

исследований. В связи с крайней важностью водно-болотных угодий Большого Соленого Озера как основного места стоянки птиц на пути их миграции вдоль Американского континента, необходимо проведение дальнейших исследований в области изучения экологического состояния озерной экосистемы и выявления характера распространения основных загрязнителей по пищевой цепи.

### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

В связи с активной антропогенной деятельностью, наблюдающейся в последние десятилетия в бассейне Большого Соленого Озера, его экологическое состояние вызывает значительное беспокойство. В этой связи на озере проводятся регулярные исследования. В течение последних 30 лет в мире каждые три года проводятся симпозиумы, посвященные проблемам соленых озер. Последний, десятый симпозиум, проходил в 2008 г. в Университете Штата Юта. На симпозиуме рассматривались вопросы гидрофизики, гидрохимии, гидробиологии соленых озер и, прежде всего, Большого Соленого озера, а также обсуждались вопросы их экологического состояния, рационального природопользования и водоохраные меры.

В бассейне Большого Соленого озера расположено несколько природных парков. В том числе на острове Антилоп - природный парк Antelope Island State Park, охраняющий обитающих здесь антилоп и бизонов, на юго-западном побережье - государственный парк Большого Соленого озера (Great Salt Lake State Park).

## **5.2. ОЗЕРО ЭЙР**

Озеро Эйр является огромным соленым озером, расположенным в юго-западной части бессточного региона в центре Австралийского континента (рис. 5.6, 5.7). Его координаты: 27°52'-29°31'ю.ш., 136°47'-138°00'в.д., урез воды находится на 9.5 м ниже уровня моря. Озеро открыл Эдвард Эйр в 1840 году, впоследствии оно было названо в его честь. Имея площадь водосбора 1140000 км<sup>2</sup> или около 1/6 площади континента (McMahon et al., 2005) оно является крупнейшим озерным бассейном Австралии, обособленным от Западного плато и одним из крупнейших внутренних бассейнов мира.

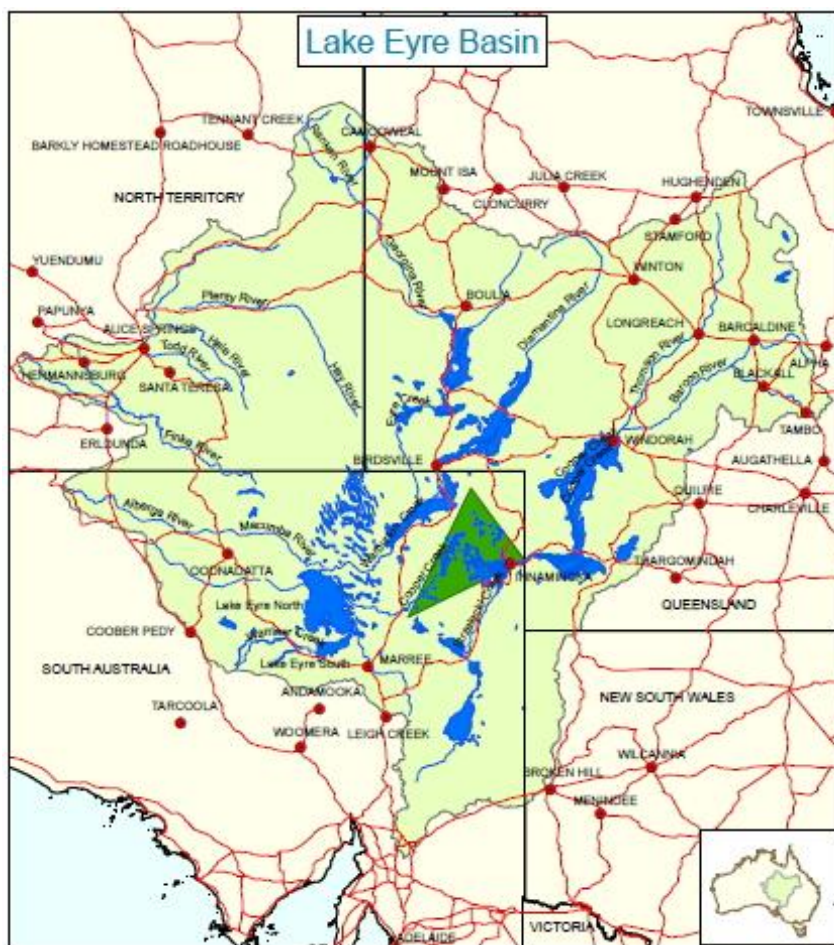


Рис. 5.6. Бассейн оз. Эйр. Источник: Australian Government..., 2007.



Рис. 5.7. Озеро Эйр. Фото NASA.

Оз. Эйр возможно одно из самых древних в мире. Его возраст оценивают в 20 - 60 миллионов лет. Бассейн начал формироваться еще

в первой половине третичного периода, в связи с понижением юго-восточной части Южной Австралии. Чаша озера имеет тектоническое происхождение. Геология бассейна представлена осадочными породами мезозойского и кайнозойского возраста. Юго-западная часть водосбора, истоки рек Купер Крик и Димантина сформированы на мезозойских осадочных породах. В северо-западной части водосбора преобладают более древние метаморфические и магматические породы протерозойского возраста (McMahon et al., 2005).

В течение многих миллионов лет водосбор оз. Эйр получал значительное количество осадков и был залесен. От 20 до 10 млн. лет назад несколько больших мелководных озер было разбросано в пределах современного бассейна. Однако, поскольку в этот период Австралия продолжала свой дрейф, сопровождавшийся увеличением аридности климата, поймы рек, питающих озера, постепенно пересыхали, в результате чего стали мелеть и сами озера. Около 2.6 млн. лет назад, в связи с началом

ледниковой эпохи, произошло резкое изменение климата, сопровождающееся опустыниванием водосбора.

Современное озеро Эйр состоит из двух секций; наибольшая из них, Северное Эйр, имеющее длину 144 км и ширину 77 км, соединено каналом Гойдер с Южным Эйр, имеющим длину 64 км и ширину 24 км. Площадь водной поверхности Северного Эйр может составлять до 8430 км<sup>2</sup>, а Южного Эйр – до 1260 км<sup>2</sup> при максимальных глубинах 5.7 и 3.7 м и средних - 3.3 и 1.9 м. Объем заключенной воды при наполнении - 27.7 и 2.4 км<sup>3</sup>, соответственно. Длина канала Гойдер - 15 км, ширина изменяется от 200 до 1500 м. Согласно Allan et al. (1986) дно канала видоизменяется практически каждый раз, когда одно из озер Эйр заполняется настолько, чтобы разгрузить часть своей воды в соседнее. За период измерений (с 1950-х гг) такая разгрузка происходила лишь в 1974 и 1984 годах, причем в 1984 г. первым было заполнено Южное Эйр.

Северное Эйр является наибольшим по своей площади и объему чаши. Его самый глубокий регион располагается в восточной части залива Белт и является наиболее низкой точкой Австралийского континента (-15 м). Dulhunty (1982) в сухой сезон различает три основные зоны Северного Эйр: аридная соленая плайя, покрывающая северные 2/3 озерного ложа, соленая аридная зона с твердой коркой соли, образовавшейся в южной части ложа и имеющей в засушливый сезон толщину до 460 мм, и влажная зона (зона слякоти), простирающаяся поперек озера с запада на восток полосой шириной в 10-15 км. Под коркой соли расположены грязи, составленные из выходящих к поверхности грунтовых вод, перемешанных с донными осадками. Около 2500 км<sup>2</sup> соляной корки фактически плавают над этими грязями (Dulhunty, 1975). Плайи характеризуются небольшой мощностью соляной корки. В период заполнения ложа водой соляная корка практически полностью растворяется. Согласно расчетам Mabbutt (1977) существующее на сегодняшний день количество соли на дне Северного Эйр могло образоваться за 5500 лет. По мнению Kotwicky (1985) от 5000 до 10000 лет назад оз. Северное Эйр существовало как постоянный соленый водоем.

Береговая часть Северного Эйр хорошо определена и состоит из песчаных дюн, разру-

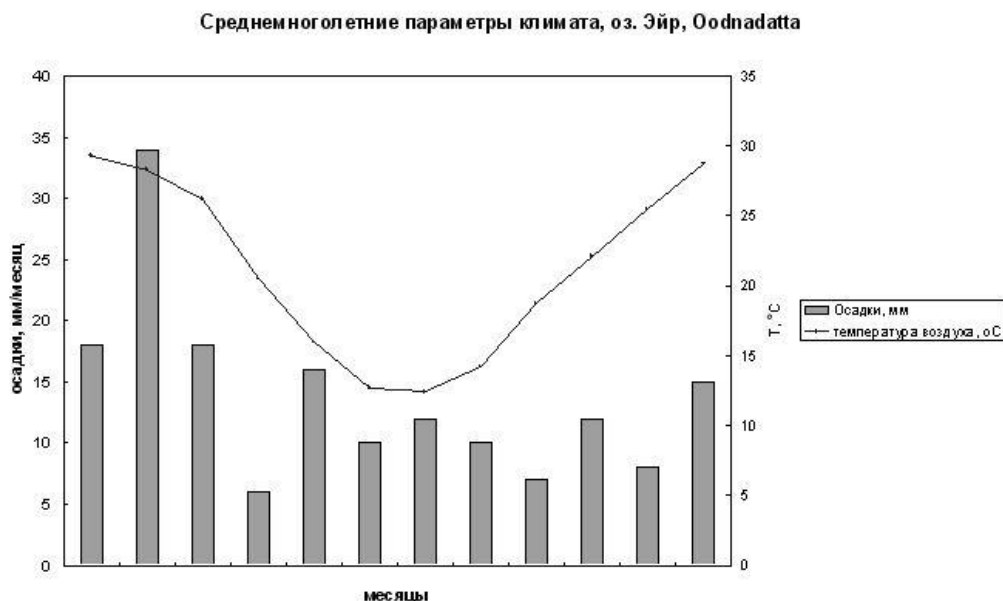
шенных гипсовых утесов или низких скал. Юго-восточный берег, представленный чередой песчаных утесов, быстро урезается со скоростью эрозионной деятельности 5 м за период разлива (Bye et al., 1978).

Южное Эйр существенно уступает Северному по площади. Его заполнение происходит обычно в годы со значительными осадками в южной части водосбора, однако оно может получать воду и из Северного озера. За период наблюдений Южное Эйр наполнялось водой в 1955, 1963, 1968, 1973, 1974, 1975, 1976, 1984 и 1989 годах. В многоводный 1974 г. вода с марта по октябрь переливалась из Северного Эйр в Южное, пока, наконец, не был достигнут уровень равновесия. При этом в Южное Эйр было перенесено большое количество соли, оцененное в 30 млн. тонн (7.5% содержания солей в Северном Эйр). В результате корка соли в Южном Эйр после испарения всей воды достигла небывалой до этого толщины, 290 мм (Dulhunty 1978). В период высокого паводка в 1984 г. Северное и Южное Эйр опять соединялись, однако перелив происходил уже в сторону Северного Эйр. Известен факт, что соль, перенесенная в Южное озеро, спустя время каким-то образом опять возвращается в Северное озеро. Механизм переноса пока до конца не ясен. Allan et al. (1986) свидетельствуя, что около 40% соли, поступившей в 1974 г. на юг было в 1984 г. возвращено в Северное озеро, высказывает предположение, что основным фактором, определяющим данный солевой баланс, является поверхностная гидрология.

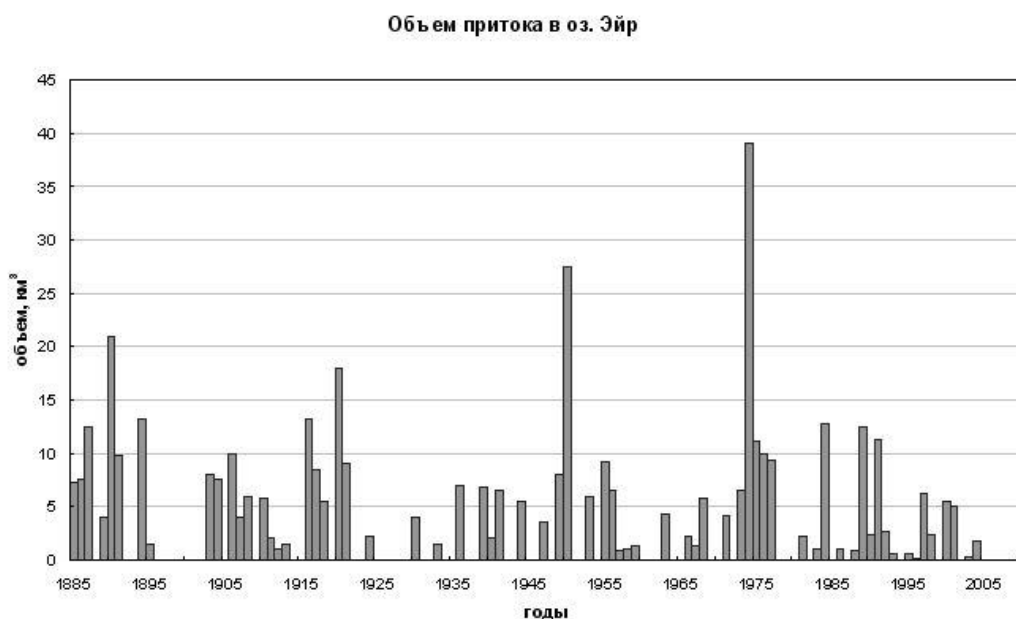
### **Климат**

Бассейн оз. Эйр расположен в пределах распространения пустынного и полупустынного климата. Для района характерны высокие температуры и небольшие и крайне неустойчивые осадки. Средняя годовая температура воздуха изменяется в пределах водосбора от 21°C на юге до 24°C на севере. Средние максимальные температуры составляют, соответственно, 18°C и 24°C в июле, и 36°C и 39°C в январе. Около половины водосбора получает менее 200 мм осадков в год (рис. 5.8). На наиболее близкой к озеру станции Muloorina среднее многолетнее количество осадков составляет 146 мм (Kotwicky, Allan, 1998). Большее количество осадков, около 400 мм,





**Рис. 5.8.** Среднемесячные параметры климата, Oodnadatta, 1920-70, по данным ILEC.



**Рис. 5.9.** Объем стока рек, впадающих в оз. Эйр (1885-2005) по данным McMahon et al., 2005.

выпадает лишь на северо-востоке бассейна, куда распространяется влияние летнего муссона. В южной части водосбора осадки небольшие и обычно выпадают в зимнее время. Среднее количество осадков на водосборе составляет 167 мм. Испаряемость оценивается в 2400-3600 мм (Kotwicki, Allan, 1998). Испарение с поверхности озера при его наполнении согласно данным Vonython, et al. (1989), полученным для 1951, 1974 и 1975 гг., составляет 1800-2000 мм.

#### **Характеристики водного режима и водного баланса**

Озеро Эйр бессточное, питается водой пересыхающих рек, дренирующих значительную часть Южной Австралии, прежде всего Квинсленда и Северных территорий. Руслу этих рек заполняются водой лишь после обильных дождей. Около 90% рек пересыхают минимум на 1/3 часть года и 50% - на 2/3 (McMahon et al., 2005). Среди основных рек – Диамантина (около 60% притока), Куперс Крик

(15%) (DeVogel et al., 2004), Нилс, Финк, Джорджина, Макумба, Фром, Тодд, Хай. Их среднегодовой суммарный сток составляет около  $4 \text{ км}^3$  (Kotwicki, Isdale, 1991). Однако его многолетняя вариативность очень высокая. На рис. 5.9 представлена диаграмма годового стока рек, впадающих в озеро Эйр.

Окружающий озеро рельеф достаточно плоский. Ландшафты представлены песчано-каменной пустыней и полупустыней, характеризующимися низкой водопроницаемостью. В период своего наполнения реки имеют обширные поймы и распадаются на множество соединенных между собой рукавов. В результате, значительная часть воды по течению рек испаряется или теряется во временных болотах, так что озера достигает лишь очень небольшая часть выпавших на водосборе осадков.

В периоды длительных засух, продолжающихся от нескольких до десятка лет, озеро находится в пересохшем состоянии. Однако даже в это время в нем остается хоть немного воды, собирающейся в небольших озерцах, образованных на солёном высохшем ложе озера. По оценкам Kotwicki, Allan, (1998) большую часть сухих лет общая масса оставшейся воды составляет от 1 до  $3 \text{ км}^3$ . В периодически возникающие влажные периоды наблюдается сравнительно быстрое заполнение озерной чаши. Оно может происходить за счет значительного стока по восточным рекам Куперс Крик или Димантина, а также, реже, за счет западных притоков (Нилс, Варинер, Маргарет и др.). Реки Куперс Крик и Димантина способны обеспечить до  $10\text{-}15 \text{ км}^3$  воды в год, западные притоки - до  $10 \text{ км}^3$  (Kotwicki, Allan, 1998). Значительное заполнение чаши происходит лишь при комбинации притока, как в 1950 и 1974 гг. Согласно мнению Allan, (1988, 1991) существенные осадки в бассейне оз. Эйр связаны с фазами колебания Ла-Нинья и южной ветви Эль-Ниньо (ENCO), вызывающими усиление летнего муссона и его вторжение в Центральную Австралию. Во вторую половину XX в. на оз. Эйр было засвидетельствовано более 20 паводков. Максимальное заполнение чаши происходило в 1949-50, 1955, 1974-76, 1984 и 1989 годах. Значительный уровень озера наблюдался также в 1963, 1968, 1973, 1992, 1997 и 2001 гг. Самый высокий уровень отмечался в 1974 г. и составил 6 м, объем притока в озеро в это время оценивается в  $39 \text{ км}^3$ .

До середины XX века наблюдения на озере проводились лишь эпизодически, так как европейцы никогда не селились в его близи. О наполнении озера сообщал Ross в 1869 г. и Halingan в 1922 г., однако их сообщения были в дальнейшем отклонены, как ошибочные. После длительной засухи 1929 г. стало бытовать мнение, что озеро постоянно сухое. Это мнение продержалось до наполнения озера в 1949 г. Kotwicki, Allan, (1998) и Allan (1985) отмечают, что до 1949 г. значительный сток в верхнем и среднем течении питающих озеро рек наблюдался в 1869, 1875, 1882-85, 1891, 1895, 1906, 1908, 1918, 1922 и 1936 годах. Поскольку точных данных о заполнении озерной чаши и о стоке рек в их нижнем течении в эти годы нет, полученные в последние десятилетия австралийскими модельерами (Kotwicki 1986, DeVogel et al., 2004) расчетные данные об объеме воды в озере на начало столетия трактуются как «характеризующиеся гидрологической неуверенностью» (Kotwicki, Allan, 1998). Даже на сегодняшний день данные по стоку рек в нижнем течении практически отсутствуют. Всего на водосборе расположен 21 гидрологический пост с длиной рядов наблюдений не превышающей обычно 10-20 лет. Более доказательными являются исследования побережья, свидетельствующие, что в более ранние периоды уровень воды мог подниматься до более высоких отметок, чем наблюдавшийся в 1974 году. Обнаружены старые береговые линии, расположенные на 0,7, 1,6 и 2,8 м выше уровня 1974 года. Согласно оценкам Dulhunty (1982) объем воды в озере при этом мог составлять 35, 48 и  $67 \text{ км}^3$ . Потенциальный объем озерной чаши оценивается около  $200 \text{ км}^3$ .

Согласно статистическим расчетам уровень оз. Эйр повышается на 1,5 м каждые 3 года, на 4 м каждое десятилетие, значительное заполнение чаши происходит 4 раза в сто лет. Скорость заполнения озерной чаши при суммарном расходе воды притоков  $5000\text{-}10000 \text{ м}^3/\text{сек}$  составляет около месяца (Dulhunty, 1982). Испарение происходит очень быстро. Обычно к следующему году остается лишь небольшое количество воды, поступившей с дождями прошедшего года, а за 2-3 года озеро почти полностью высыхает.

#### **Основные характеристики качества вод**

Озеро Эйр очень соленое, его вода хлоридно-натриевого типа. В зависимости от водности



концентрация солей варьирует в большом диапазоне. В Южном Эйр она изменяется от 25 до 270 промилле. рН 7.1-8.7. Среди ионов преобладает натрий и хлор.  $Na > Ca > Mg > K$ ;  $Cl > HCO_3$ . Содержание кремния составляет 1270-12300 мг/л. Цвет воды периодически становится розовым из-за присутствия бета-каротина, пигмента, образуемого благодаря присутствию галофильной зеленой водоросли *Dunaliella salina*.

Большая часть водосбора озера расположена над Большим Артезианским Бассейном, имеющим площадь 1711000 км<sup>2</sup> или 23% от площади Австралии (Great Artesian..., 2002) и являющимся одним из самых крупных в мире. Водоносные слои состоят из пористых песчаников триасового, юрского и мелового периодов, глубина залегания которых в центральной части бассейна составляет до 3000 метров. Верхние водоносные слои характеризуются повышенной соленостью воды, так что для водоснабжения используется преимущественно вода более глубоких водоносных горизонтов.

Вода очень медленно перемещается по Большому Артезианскому Бассейну, согласно расчетам время ее добегания от предгорной зоны до озера Эйр составляет около 2 млн. лет (Great Artesian..., 2002). По периферии Бассейна расположено около 600 ключей с расходом от 0.0001 до 0.23 м/с. Их суммарный годовой сток оценивается в 0.03 км<sup>3</sup> (Habermehl, 1980). Минерализация ключевой воды составляет 700-1400 мг/л, рН 7.1-8.0, температура воды 30-40°C. В артезианских колодцах температуры воды более высокие: от 30° в наименее глубоких колодцах, расположенных по периферии Бассейна, до 100°C в наиболее глубоких колодцах его центральной части. Минерализация воды составляет преимущественно 1-5 г/л, наиболее минерализованными (до 40 г/л) являются грунтовые воды юго-западной части Бассейна (Great Artesian..., 2002).

#### **Основные биологические особенности**

В периоды наполнения озера его высшая водная растительность представлена воздушно-водными макрофитами: сытью (*Cyperus gymnocaulos*), рогозом (*Typha domingensis*), тростником обыкновенным (*Phragmites australis*); погруженными: рдестом (*Potamogeton* sp.), халосарцией (*Halosarcia* spp.), склеростегией (*Sclerostegia* spp.), шерстестебельником (*Eriocaulon carsonii*), гахнией (*Gahnia trifida*), махариной (*Machaerina juncea*) (LBRI&ILEC,

1990). Фитопланктон представлен: диатомовыми водорослями, большая часть которых характерна для соленых озер всего мира. Зафиксировано 33 вида диатомовых, из которых в Южном Эйр лишь 14 видов. Наиболее распространены: *Synedra fasciculata*, *Entomoneis paludosa*, *Coscinodiscus* sp., *Anomoeoneis sphaerophora* (Blinn, 1991). Зоопланктон представлен коловратками: *Brachionus plicatilis*, ветвистоусыми рачками: *Parartemia minuta*, *Moina baylyi*, *Daphniopsis* sp., веслоногими ракообразными: *Microcyclops platypus*, *Microcyclops* sp., (LBRI&ILEC, 1990, Williams, Kokkinn, 1988). Бентос представлен комарами-звонцами: *Tanytarsus barbitarsis*, ракушковыми: *Heterocypris* sp., *Diacypris* sp., *Trigonocypris globulosa*, *Reticocypris kurdimurka*, *Mytilocypris splendida*, *Phreatomerus latipes*, бокоплавами (*Afrochiltonia* spp.), и циклоподами (*Paracyclops* sp.)

После того, как в озеро попадает пресная дождевая вода, и уровень его солености резко снижается, в него может заходить рыба, даже пресноводная. Среди рыб встречаются представители отряда окунеобразных, семейства бычковых - *Chlamydogobius eremius*, отряда сомообразных, семейства угрехвостых сомов - *Neosilurus* sp., отряда атеринообразных, семейства атериновых - твердоголовки (*Craterocephalus dalhousiensis*, *C. eyresii*), отряда пецилиевых, семейства гамбузия - *Gambusia affinis*, а также представители отряда десятиногих раков: рак-херакс *Cherax destructor* и креветка *Caridina thermophila* (LBRI&ILEC, 1990). Увеличение солености, происходящее после окончания периода дождей по мере активного испарения, приводит к массовой гибели рыбы.

В периоды заполнения озера, сопровождаемые активным развитием озерной биоты, на него прилетает множество водоплавающих птиц, их общая численность в это время достигает 6-8 миллионов. Вблизи озера Эйр отмечается около 60 видов, среди которых наиболее многочисленны пеликаны.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Эйр составляет 1140000 км<sup>2</sup>, большая его часть представляет собой пустыню. На огромной территории проживает лишь около 60 тыс. человек (Herr et al., 2009); плотность населения - 0.04 чел/км<sup>2</sup>. Главные центры - Элис Спрингс, Маунт Иса, Брокен-Хилл, расположены по периферии водосбора.

Основные выращиваемые культура - травы. Почти все не пустынные части водосбора, расположенные в местах близкого залегания артезианских вод, используются под выпас рогатого скота и овец. Развитие региона связано также с развитием добывающей, нефтяной и газовой промышленности. Здесь обнаружены месторождения драгоценных металлов, происходит добыча опала, фосфата, гипса и урана. Бассейн Озера Эйр содержит самые существенные береговые нефтяные запасы Австралии, значительные ее месторождения, освоение которых представляется экономически выгодным, обнаружены в бассейне р. Купер.

В последние десятилетия в бассейне оз. Эйр активно развивается туризм. Естественные ландшафты привлекают посетителей своей красотой и необычностью. В регионе разрешена охота и рыбная ловля. Количество туристов на начало 2000-х годов составляло около 2 млн. в год (Herr et al., 2009). Развитие туристической инфраструктуры способствует росту числа посетителей, и очень выгодно для развития местной экономики.

Основным источником воды для коммунального, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения в регионе являются грунтовые воды. Только в южной части Большого Артезианского Бассейна построено около 290 артезианских колодцев (Great Artesian..., 2002). В связи с ограниченностью водозапаса и огромной ценностью воды для пустынного региона правительство Австралии с 1977 г. проводит программу по экономии используемой воды. В этой связи было запрещено строительство колодцев в сейсмически опасных регионах западной части Бассейна. С целью предотвращения возможных утечек воды, принято решение о систематических работах по обследованию и восстановлению всех используемых колодцев. Актом 1990 г. в число охраняемых водных объектов были внесены ключевые воды.

#### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Бассейн оз. Эйр остается одним из наименее затронутых антропогенной деятельностью водосборов мира. Главные проблемы для озера - это эрозия берегов и заиление, носящие в значительной степени естественный характер. Скорость береговой эрозии оценивается в 5 м в годы заполнения озерной чаши. Уровень

заиления оценивается как тяжелый, но без ущерба. Токсическое загрязнение, эвтрофикация и закисление не выявлены.

Поскольку величины стока рек, питающих оз. Эйр, крайне чувствительны к любым климатическим изменениям, предсказываются значительные вариации элементов водного баланса в бассейне озера в связи с возможным глобальным потеплением (Kotwicki, 1987). Nemes (1985) отмечает, что даже небольшое повышение осадков может существенно отразиться на водном режиме данного засушливого региона, рост осадков на 25% и снижение температуры на 1°C приведет к увеличению стока на 250%. Так как заполнение оз. Эйр полностью зависит от климатических причин, и любые даже сравнительно небольшие осадки, способны вызвать значимый сток, способствующий пополнению озерной чаши, исследования климата являются важнейшими на водосборе озера. К сожалению, на сегодняшний день сеть метеорологических наблюдений крайне редка. Чрезвычайная чувствительность озера к климатическим изменениям требует увеличения сети, что бы позволило давать более надежные прогнозные оценки. Кроме того, важнейшим вопросом является изучение водных ресурсов озера в свете возможных антропогенных изменений климата.

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

В надежде улучшить и оздоровить громадную пустынную область вокруг озера периодически разрабатываются проекты его заполнения. Первая схема была предложена еще в конце XIX в. и состояла в соединении посредством канала озера Эйр с Заливом Спенсера и пополнения его за счет морской воды. Расчетная длина канала составляла 400 км, ширина – около 1.5 км, однако стоимость такого проекта была баснословно высокой и поэтому в 1883 г. он был отклонен. В дальнейшем было предложено множество других проектов, большинство из которых сводилось к переброскам стока и строительству плотин на притоках с образованием громадных водохранилищ. Поскольку даже полное заполнение озерной чаши не изменит аридности региона, а использование соленой воды при современных технологиях не рентабельно, заполнение озера пока останется на рассмотрение будущих поколений.

На сегодняшний день правительство Австра-

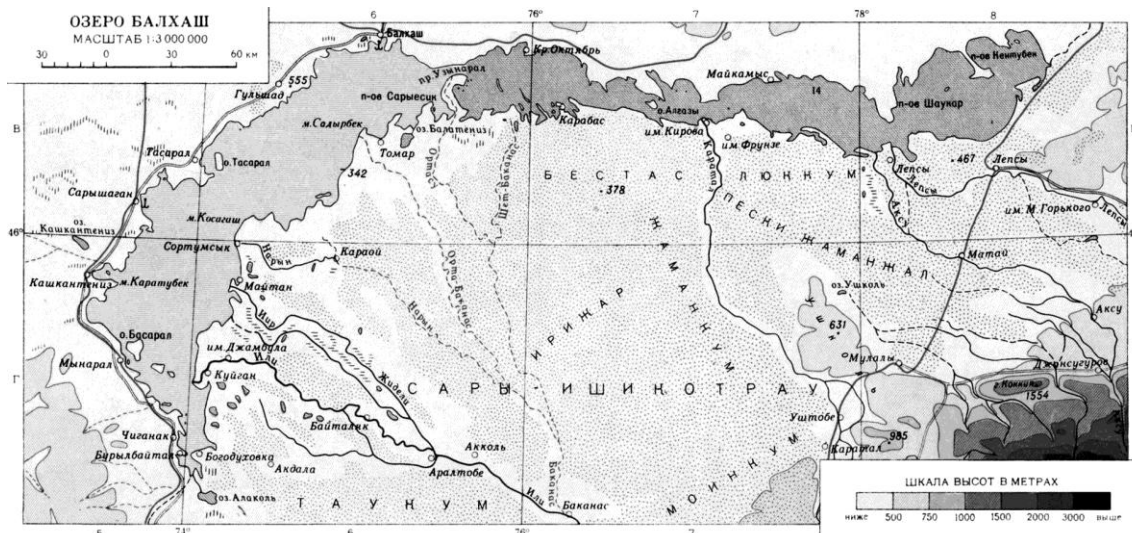


Рис. 5.10. Озеро Балхаш. Источник: Атлас СССР.

лии совместно с властями Квинсленда, Южной Австралии и Северных Территорий разработали Межправительственное Соглашение по управлению ресурсами оз. Эйр. Соглашение обеспечивает жизнеспособное управление водными и природными ресурсами региона, имеющего важное экономическое и культурное значение (Lake Eyre... 2000). Кроме того, оно направлено на содействие проведению научных исследований и мониторинга региона с целью получения новых знаний и возможности принятия обоснованных решений по озеру.

Оз. Эйр является одной из последних на Земле практически не тронутых и не регулируемых систем, и его сохранность крайне важна для будущих поколений. Здесь проживает множество редчайших животных, и произрастают редкие растения, формирующие особые экосистемы. На территории водосбора выделены особо охраняемые территории, как Рамсарские водно-болотные угодья озера Кунги, луга Национального Парка Астребла Даунс и пустынные земли Национального Парка Пустыня Симпсон. Северное оз. Эйр включено в состав Национального парка «Озеро Эйр».

### 5.3. ОЗЕРО БАЛХАШ

Озеро Балхаш - второе по величине озеро в Средней Азии. Это внутриконтинентальное, бессточное, солоноватое водоем, расположенный в восточной части Казахстана (рис. 5.10). Орография его дренажного бассейна очень разнообразна и включает высокие

горные системы, низкогорья, равнины и пески, частично ограждающие озеро. Граница водосбора проходит по хребтам Джунгарского Алатау на юге и юго-западе, по возвышенностям Арало-Иртышского водораздела - на севере и по хребтам Чингиз-Тау и Тарбагатай - на востоке и северо-востоке. Озеро примыкает к Алматинской, Карагандинской, и Жамбылской областям Казахстана. Его координаты 44°58'-46°47'с.ш., 73°28'-79°16'в.д., высота уреза воды - 341 м над уровнем моря. Площадь водного зеркала составляет 18200 км<sup>2</sup>, длина - 614 км максимальная ширина - 74 км, максимальная глубина - 27 м при средней - 5,8 м. Объем заключенной воды - 106 км<sup>3</sup> (История озер..., 1991).

Оз. Балхаш - одно из древнейших на Земле, оно занимает наиболее низкую часть обширной Балхаш-Алакольской котловины, образовавшейся в результате пологого прогиба Туранской плиты в неоген-четвертичное время и впоследствии заполненной песчаными речными отложениями. Котловина входит в систему разломов Джунгарского Алатау, в которых также расположены озера Сасыкколь, Алаколь и Эби-Нур. Все они являются остатками древнего Ханхайского моря, некогда занимавшего всю Балхаш-Алакольскую впадину. Долгое время было распространено мнение, высказанное в свое время Мушкетовым (1910), что Балхаш в геологически недавнее время составлял часть обширного Арало-Каспийского бассейна. Однако исследования Никольского (1887) доказывают, что это неверно. Рыбы Балхаша и впадающих в него рек (судаки, окуни,

маринки) гораздо ближе к рыбам бассейна Тарима, (от которого Балхаш теперь отделен высокой цепью Тянь-Шаня), чем к рыбам Арала и рек, впадающих в него (Амударьи и Сырдарьи). Кроме того, в речной области Балхаша нет зеленой (съедобной) лягушки (ИЛЕС, 1993).

Оз. Балхаш - замкнутый бассейн, его котловина представляет собой относительно неглубокий канал, дугообразно вытянутый с запада-юго-запада на восток-северо-восток, в западной части имеется выступ на юг. Основная котловина подразделяется на ряд более мелких, с различными морфометрическими характеристиками. Полуостров Сарыесик, расположенный примерно посередине озера, гидрографически делит его на две сильно отличающиеся части: мелководную и пресноводную западную, и более глубоководную и соленую восточную с минерализацией от 3.5 до 6 промилле (История озера..., 1991). Через формируемый полуостровом пролив Узынарал (глубина около 6 м, и ширина 3.5 км) вода из западной части поступает в восточную. На Западный Балхаш приходится 58% общей площади озера и 42% его объема. В западной части имеются две впадины глубиной до 7—11 м — одна из них протянулась от острова Тасарал до мыса Коржынтубек, вторая - тянется на юге от залива Бертыс. Восточный Балхаш более узкий, его максимальная глубина составляет 27 м. Береговая линия очень извилистая, и характеризуется большим количеством заливов, бухт, полуостровов. Многие полуострова вдаются далеко в озеро и расчленяют его на отдельные плесы. Островов мало, наиболее крупные — Базарал и Тасарал, а также Ортаарал, Аякарал и Олжабекарал расположенные в западной части озера.

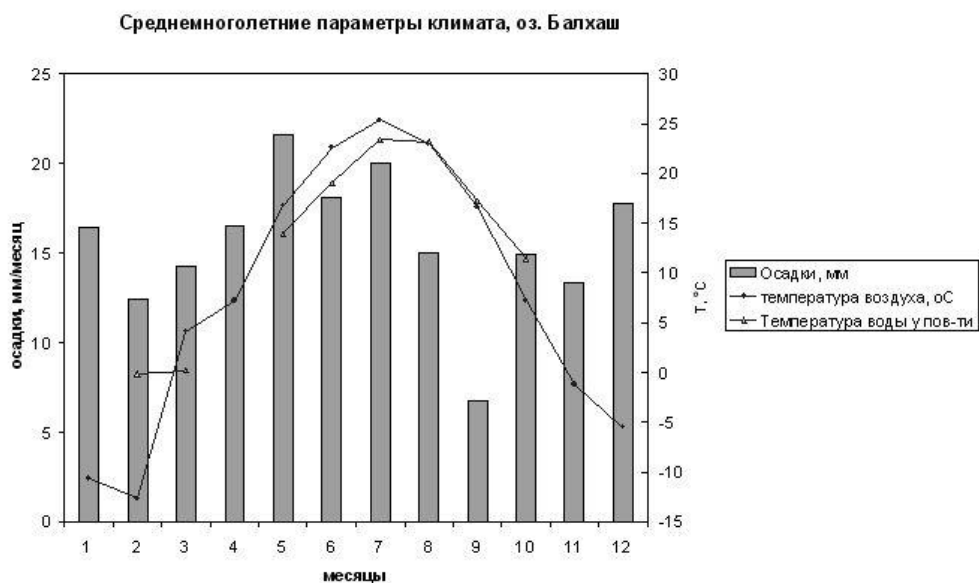
Западный и северо-западный берега высокие, скалистые, сложены палеозойскими породами и имеют следы древних террас, здесь над озером поднимается нагорье (плато), и с этой стороны озеро не получает ни одного притока. Южные берега от залива Карашаган до дельты реки Или низкие (1—2 м) и песчаные, в высокую воду они периодически затапливаются, из-за чего испещрены многочисленными мелкими озёрами, местами встречаются прибрежные холмы высотой 5—10 м. Они покрыты густыми зарослями тростника, особенно в устье р. Или. Растительный мир бассейна представлен галофильными группировками и саксауловыми сообществами на

песчаных массивах, эфемерово и злаково-разнотравно-полынными сообществами на глинистых и суглинистых почвах, злаково-разнотравными группировками, галофильной растительностью на солончаках и такырах, тугайной растительностью и уникальными туранговыми зарослями в поймах рек, а также прибрежно-пойменной, луговой, болотной и водной растительностью (Концепция...).

Озеро питается стоком впадающих в него с юга рек Или (до 80 % поверхностного притока), Каратал (15.1%), Аксу (0.13%) и Лепсы (5.4%); реки, втекающие с севера, малочисленны и маловодны, наиболее крупные из них – Аягуз, Баканас, Токрау и Моинты. Основную долю в питании составляют тающие летом высокогорные снега и ледники. Бассейн основного притока, р. Или, включает как территорию юго-восточного Казахстана, так и северо-западные территории КНР, причем на территории КНР формируется около 70% от общего стока (Концепция ...). Общая протяженность реки - 1439 км, из которых 815 км протекает по территории Казахстана. При впадении в озеро, р. Или образует дельту площадью около 8 тыс. км<sup>2</sup> со множеством протоков (Кур-Ли, Ак-Узек, Джиде и другие). Дельта гидравлически связана с озером и играет роль природного регулятора по поддержанию экологического равновесия в экосистеме, отдавая часть запасов воды озеру в засушливые годы. Поскольку воды среднего течения р. Или было трудно использовать для орошения, в период 1965-1970 гг. у г. Илийск (современный Капчагай) была построена плотина, образовавшая Капчагайское водохранилище. Заполнение водохранилища и начало его работы явилось в последующие десятилетия причиной многочисленных проблем для экосистемы оз. Балхаш.

### ***История заселения и роль озера в жизни окружающих народов***

Первые упоминания об оз. Балхаш встречаются у китайцев, имевших тесные контакты со Средней Азией, уже со 103 г. до н.э. озеро упоминается в письменных источниках под названием Пуку-Буку. Александр фон Гумбольдт полагал, что оз. Балхаш было известно китайцам под именем «Си-Хай» (Западное море). Название «Балхаш-Нор», данное озеру джунгарами и калмыками, отражено на карте Юлиуса Клапрота 1833 года, составленной по



**Рис. 5.11.** Среднегодовое параметры климата оз. Балхаш по данным ИЛЕС.

съемкам европейских послов. Тюрки и монголы называли его «Ак-Денгиз» («белое море»), а когда границы их государств отодвинулись на запад, то озеро стало «синим» (восточным) — «Кукча-Денгиз». Казахи именовали озеро «Тенгиз», что значит «море».

С VIII в. территория от озера до гор Тянь-Шаня известна как Семиречье, где смешивались культуры кочевых (турок и монголов) и оседлых народов Средней Азии (Sousek, 2000). Во времена китайской династии Цин озеро являлось северной границей китайского государства, но в 1864 году в соответствии с русско-китайским соглашением по северо-западной границе Балхаш и прилегающие к нему территории отошли к Российской империи. В 1834 г. астроном В. Ф. Фёдоров определил точное положение озера и частично заснял его побережье (Николаев, 1984). В период с 1837 по 1843 гг. было совершено несколько экспедиций в район озера, изучены его берега, и произведён пробный лов рыбы. Экспедиция 1851—1852 гг. изучила глубины озера и возможность судоходства на нём (ИРГО, 1867).

Оз. Балхаш является важнейшим резервуаром воды Восточного Казахстана. Водные ресурсы Западной части озера и его притоков используются для нужд ирригации, коммунального хозяйства, промышленности (включая водозабор на нужды Балхашского Медиплавильного Завода). Кроме того, озеро играет оп-

ределяющую роль в климатическом балансе юго-восточной и центральной частей Казахстана.

#### **Климат. Характеристики термического режима**

Балхашская депрессия находится под влиянием аридного континентального климата с годовым количеством осадков менее 150-200 мм. Для региона характерны большие амплитуды колебаний годовых и суточных температур. Зимняя погода формируется под воздействием сибирского антициклона, при ясной сухой погоде температуры воздуха в это время достигают  $-40-50^{\circ}\text{C}$ , средняя температура января около  $-14^{\circ}\text{C}$  (рис. 5.11). Весной погода неустойчива, частое вторжение холодных воздушных масс приводит к заморозкам и обильным осадкам, это наиболее влажная часть года. Средняя месячная температура самого теплого месяца - июля -  $25-30^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность теплого периода со средними месячными температурами выше  $0^{\circ}\text{C}$  - 8-8.5 месяцев.

В течение года над озером преобладают ветры восточного и северо-восточного направления, средняя годовая скорость которых составляет 4.5—4.8 м/сек, скорость ураганных ветров - до 40 м/сек (Федюшин, 1985). При значительной скорости ветра на озере возникают волны, высотой до 3-3.5 м. В озере преобладают ветровые и сейшевые течения переменного направления. Их суммарные скорости не

превышают 0.6-0.8 м/сек, а в сужениях котловины достигают 1.2-1.5 м/сек. Преобладают течения, направленные по продольной оси озера, им присущ циклический ход во времени с резким изменением направления (на 150-200°) и скорости (Суходольский, 1989).

Озеро полимиктическое в его западной части и димиктическое - в восточной. Вертикальная термальная стратификация развивается, но, при должной ветровой конвекции водной массы - не полностью. Характерные для весны изменения от зимней к летней стагнации наблюдаются в третьей декаде мая. Осеннее гомотермальное состояние развивается в первой декаде октября. Зимняя стагнация длится с начала октября по середину мая. Максимум температуры воды приходится на июль и составляет в западной части озера 23.8°C, а в восточной - 20.1°C. Ледостав в западной части озера наступает во второй половине ноября, а в восточной - в декабре, вскрытие - в первой половине и в середине апреля, соответственно. Отставание связано с увеличением минерализации по направлению с запада на восток, в связи с чем температура замерзания изменяется от -0.04 до -0.30°C.

#### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

Особенности водного режима оз. Балхаш связаны с замкнутостью его бассейна. Для озера характерны значительные колебания уровня воды, определяемые как естественными (колебания увлажненности климата), так и антропогенными факторами (строительство гидротехнических сооружений, хозяйственная деятельность на водосборе и пр.). При этом даже небольшие колебания уровня приводят к существенным изменениям морфометрических характеристик озера. Так, в течение XX в. площадь зеркала озера изменялась от 15730 км кв. в 1946 г. до 23464 км кв. в 1910 г., а объем воды - с 82.7 до 163.9 км куб, соответственно (ILEC, 1993). На уровень 1999 г. площадь озера составляла около 17100 км<sup>2</sup> (Концепция...).

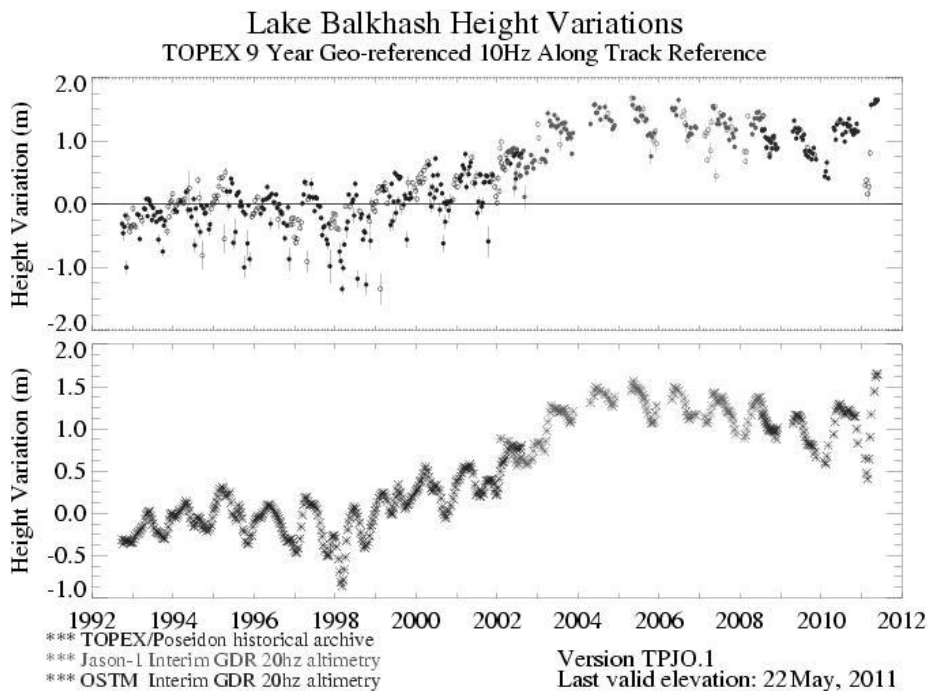
На многовековые и внутривековыми колебания уровня оз. Балхаш накладываются изменения меньшего порядка. Амплитуда многовековых колебаний составляет 12—14 м; за прошедшие 2000 лет минимальные значения уровня пришлись на V - X вв., а максимальные - на XIII - XVII вв. (Shahgedanova, 2002). Амплитуда внутривековых изменений уровня составляет около 3 м, а внутригодовых - 1.6 м. Согласно

мнению Кляшторина, Любушина (2005) периодические увеличения объема озера приурочены к так называемым «периодам похолодания», а снижения - к периодам «потепления».

Последний цикл снижения уровня воды озера в его естественном состоянии закончился в 1946 г., когда отметка уровня составила 340.7 м. над уровнем моря. К 1969 г. средний годовой уровень воды повысился до 342.7 м., и площадь озера составила около 20 тыс. км<sup>2</sup> при объеме - 120 км<sup>3</sup>. Такое состояние озера сохранялось до середины 1970 г., когда была построена плотина на р.Или и началось заполнение Капчагайского водохранилища (объем 29 км<sup>3</sup>), именно с этого времени началось катастрофическое снижение объема поступающих в озеро речных вод, происходящее на фоне общего уменьшения увлажненности климата в этот период. Согласно расчетам Kezer et al., (2006) в начале 1970-х гг. в связи с климатическими факторами приток р. Или сократился до 77% от уровня 1969 г (до начала заполнения водохранилища), одновременно снизился приток других рек, питающих озеро, который в 1975 г. составлял лишь 75% от уровня 1969 года. В то же время на заполнение водохранилища ежегодно уходило 2.7 км<sup>3</sup> воды (Аламанов и др., 2006). К 1980 г. водный режим дельты р.Или был уже существенно изменен, и ее сток сократился с 12 до 9.5 км<sup>3</sup> (табл. 5.1). Общее снижение речного притока повлекло падение уровня озера к 1980 г. на 143 см при средней скорости снижения - около 15.6 см/год. Из-за уменьшения притока пресных вод в Западный Балхаш начала возрастать соленость его воды, которая поднялась до 2.05 промилле (Аламанов, 2006), в результате существенно изменились условия существования рыб, животных, птиц и др. обитателей побережья. К концу 1980-х гг. общая площадь поверхности озера сократилась уже на 2 тыс. км<sup>2</sup>, уровень его воды понизился на 2.2 м, а объем заключенной воды уменьшился на 30 км<sup>3</sup> (Le Sourd, Rizzolio, 2004). Обмеление оз. Балхаш признавалось экологической катастрофой, особенно четко оно проявлялось в его менее глубокой западной части. Некогда благодатные земли, окружающие озеро, постепенно превращались в пустыню, процесс опустынивания охватывал около 1/3 бассейна, отмечался вынос соляной пыли с поверхности обсохшего дна озера и пойменных участков в окружающее пространство (Самакова, 2005).

**Табл. 5.1.** Водный баланс оз. Балхаш до и после создания Капчагайского водохранилища (Раткович и др., 1990, UNDP, 2004)

	1937-1969	1970-1983	2000
поверхностный приток, км <sup>3</sup>	15.0	12.9	18.5
подземный приток, км <sup>3</sup>			0.9
осадки, км <sup>3</sup>	3.6	3.5	3.1
испарение, км <sup>3</sup>	18.0	18.2	16.1
Потребление воды в бассейне хозяйствующими субъектами и населением км <sup>3</sup>			3.73



**Рис. 5.12.** Уровень воды оз. Балхаш по данным со спутников TOPEX, Jason-1, OSTM. Источник: USDA.

Минимум уровня воды в озере (340.65 м) был зафиксирован в 1987 г. после окончания заполнения Капчагайского водохранилища. К счастью, с начала 1990-х гг., согласно данным со спутников TOPEX и Jason-1 (рис. 5.12) уровень озера наконец начал расти и к 2001 г. составил 341.87 м (Концепция ...). Его максимальный рост наблюдался в течение десятилетия между 1995 и 2005 гг., и составил 1.5 м, так что к 2005 г. уровень Балхаша поднялся до 342.5 м. С 2006 по 2010 гг., согласно спутниковым данным, вновь наблюдается плавное снижение уровня, составившее к настоящему моменту около 35 см.

В целом, из-за резко возросшего водопотребления и нерационального использования водных ресурсов в регионе, сохраняется общая тенденция к снижению уровня озера, которую не могут исправить даже периоды повышенной водности. Проблема высыхания Балхаша и связанная с ним экологическая катастрофа являются предметом активного обсуждения как в Средне-Азиатском регионе, так и в мире, хоть на сегодняшний день, в свете значительного подъема уровня на рубеже XX-XXI вв., она кажется чрезмерно драматизированной. Однако следует иметь ввиду, что на ближайшие десятилетия (2010-2020-е гг.) согласно естественным колебаниям водности можно ожидать снижение стока. В сочетании с прогнозируе-



**Таблица 5.2.** Изменение минерализации воды (г/л) вдоль оз. Балхаш до и после зарегулирования стока р.Или (источник: Давыдова и др..., 1985)

РАССТОЯНИЕ ОТ УСТЬЯ Р. ИЛИ, КМ	ДЕЛЬТА РЕКИ	110	180	250	350	400	520	600
1969 г.	1.1	1.2	1.2	1.6	2.6	3.5	3.5	4.2
1979 г.	1.7	1.7	2.0	2.1	2.9	3.6	4.7	4.6

мым увеличением водозабора на территории Китая это может привести к падению уровня воды ниже отметки в 340 м, тогда как оптимальные колебания для озера находятся в промежутке 341-342 м.

Речной сток играет основную роль в приходной части водного баланса озера. До создания Капчагайского водохранилища ежегодный речной приток в озеро составлял более 16 км<sup>3</sup>, а осадки на его поверхность – 3.6 км<sup>3</sup>. При этом на долю р.Или приходилось 12 км<sup>3</sup>, а суммарный сток рек Каратал и Аксу составлял около 3.8 км<sup>3</sup>. Подземное питание по сравнению с речным стоком невелико и составляло 0.06 км<sup>3</sup> (С.М.Шапиро, О.В. Подольный, 1986). Оно осуществлялось в виде концентрированных потоков, приуроченных к древним и современным речным долинам, крупным тектоническим разломам, а также путем вертикального перетока напорных вод Южно-Прибалхашского артезианского бассейна через слабо пропускающие донные отложения. После создания Капчагайского водохранилища речной сток в озеро сократился (табл. 5.1). В период с 1970 по 1983 г.г водопотребление в бассейне р.Или возросло с 2.2 до 5.5 км<sup>3</sup>, при этом безвозвратные потери стока составляли около 30%, так что некоторые реки, впадающие в Восточный Балхаш периодически перестали его достигать. Наряду с ростом потерь, снижение стока было вызвано также снижением количества осадков, наблюдавшегося в регионе в 1970-80 гг.

Расходную часть водного баланса озера составляют потери на испарение с поверхности водоема (около 18 км<sup>3</sup>), а также отток озерных вод в прибрежные депрессии южного побережья, составляющий значительную величину и расходуемый на испарение и транспирацию водной и сухоходольной растительности. Величина испарения значительно изменяется год от года, в прохладные годы она составляет около 950 мм, а в жаркие и сухие - до 1200 мм.

### **Основные характеристики качества вод**

Гидрохимический режим оз. Балхаш обусловлен особенностями строения его котловины и колебаниями уровня воды. В зависимости от флуктуаций уровня, западная часть имеет пресную или солоноватую воду (0.5-1.5 промилле), тогда как восточная характеризуется значительно большей концентрацией растворенных солей (от 3.5 до 6 (7) промилле). Сохранению такой разницы в солености способствует слабый водообмен между двумя частями. До строительства Капчагайского вдхр. максимальные значения минерализации воды в западной части озера отмечались в маловодные 1940-е годы, тогда как в многоводную фазу 1950- 60-х гг минерализация снижалась. При максимуме уровня в 1969 г. наблюдалась неравномерность распределения минерализации воды по продольной оси озера. Главный приток оз. Балхаш - р.Или впадая в его западный плес, распресняет воду; по мере отдаления от устья соленость воды увеличивается (табл. 5.2).

Прозрачность воды в устье р. Или колеблется в пределах 0.2-0.4 м., достигая в восточной части озера 5.5 м (макс. 10 м). Наименьшая прозрачность отмечается летом, наибольшая – зимой. В юго-западной части озера цвет воды – мутно-желтый, на востоке – изумрудно-зеленый. Показатель кислотности среды, рН составляет 8.5-9.0 (ИЕС, 1993).

Тарасов (1961) на основе анализа морфометрических, гидрологических и гидрохимических особенностей разделил озеро на 8 районов: по четыре в западном и восточном районах. Он подсчитал, что существующий в водоеме запас солей (312 тонн) мог бы накопиться всего за 50 лет, а с учетом выпадения в осадок карбонатов кальция и магния - только за 120 лет. Среднее многолетнее поступление солей в оз. Балхаш за 40 лет (1931-1970 г.г.) составило около 7.5 млн. тонн и только 0.5 млн. тонн пошло на пополнение солезапаса. Это может быть объяснено тем, что наряду с притоком речных

вод по периметру озера, особенности морфометрии и морфологии его котловины предохраняли оз. Балхаш от интенсивного увеличения минерализации вод по всей его площади. Тем не менее, проблема современного соленакопления в озере является одной из насущных экологических проблем, которая требует своего решения.

Концентрация биогенных элементов в озере значительна. На участках постоянного загрязнения (бухта Берг, зал.Буру-Байтал) концентрация аммонийных ионов в зимнее время достигает 3.0-3.4 мг NO<sub>2</sub>/л, в летнее – 0.6-0.9 мг NO<sub>2</sub>/л. В открытой части озера их концентрация в течении года колеблется от 0.05 до 0.6 мг NO<sub>2</sub>/л, азота нитратов – от аналитического нуля до 0.7 мг/л. Содержание общего фосфора составляет 0.002-0.2 мгР/л, оно увеличивается в зимнее время, а летом, в результате биологического потребления, снижается до 0.002-0.070 мгР/л.

Озеро характеризуется благоприятным кислородным режимом, минимум содержания растворенного кислорода отмечается летом в результате преобладания процессов биохимического потребления над его продукцией, максимум – в конце зимы вследствие широкого развития подледного фотосинтеза.

#### **Основные биологические особенности**

Оз. Балхаш характеризуется богатством высшей водной растительности. Вдоль его мелководного побережья тянутся заросли тростника (*Phragmites australis*), камыша (*Scirpus littoralis*, *S. lacustris*, *S. kasachstanicus*), рогоза (*Typha angustata*), осоки (*Carex* spp.) и др. Из погруженной растительности произрастают рдесты (*Potamogeton lucens*, *P. perfoliatus*, *P. crispus*, *P. pectinatus*, *P. macrocarpus*), уруть (*Myriophyllum spicatum*, *M. verticillatum*), пузырчатка (*Utricularia vulgaris*), роголистник (*Ceratophyllum demersum*), наяда (*Najas marina*, *N. minor*), а также харовые водоросли (*Charophyta*). Общая площадь тростниковых зарослей только в дельте р. Или достигает более 140 тыс. га (Филоненц, 1981).

Фитопланктон оз. Балхаш представлен 200 видами, среди которых преобладают диатомовые (*Melosira granulata*, *Conscinodiscus* sp., *Campylodiscus clypeus*, *Chaetoceros* sp.) зеленые и сине-зеленые водоросли (*Microcystis flos-aquae*, *Lyngbya* sp., *Gomphosphaeria lacustris*, *Nodularia spumigena*, *Nodularia*), динофлагел-

ляты (*Ceratium*, *Peridinium latum*, *Glenodinium borgei*). При этом 38 % всех видов являются пресноводными, 45% - солоновато-пресноводными и 17% - солоновато-водными. Средняя биомасса фитопланктона по озеру оценивается в 1.127 г/л (LBRI&ILECF, 1993).

Фауна озера была довольно богата, но, начиная с 1970-х годов, биоразнообразие начало снижаться из-за ухудшения качества воды. Зоопланктон представлен коловратками (*Synchaeta* sp., *Filinia longiseta*, *F. longiseta* var. *limnetica*, *Polyarthra platyptera*, *Keratella quadrata*, *K. quadrata* var. *valga*, *K. cochlearis*, *K. cochlearis* var. *tecta*, *Hexarthra oxyure*), ветвистоусыми рачками (*Daphnia cristata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Chydorus sphaericus*, *Leptodora kindtii*) и веслоногими ракообразными (*Arctodiaptomus salinus*, *Mesocyclops crassus*, *M. leuckarti*). Средняя по озеру биомасса составляет 1.87 гр/л (LBRI&ILECF, 1993), ее основная часть формируется за счет ветвистоусых рачков. В западной части озера видовой состав планктона более разнообразен.

Зообентос представлен олигохетами, моллюсками, личинками и взрослыми хирономидами (*Chironomus salinarius*, *C. plumosus*, *Parachironomus*, *Prochironomus*, *Endochironomus nymphoides*, *Stictochironomus*, *Cryptochironomus*, *Tanypus*, *Harnischia*), поденками, ручейниками, мизидами, полихедами. Биомасса бентоса в Западном Балхаше достигает 4.53 г/м<sup>2</sup>, в Восточном – 2.09 г/м<sup>2</sup> (Тютеньков, и др. 1974).

В озере обитает около 30 видов рыб, среди которых 6 местных: илийская и балхашская маринка (*Schizothorax argentatus*, *S. Pseudokasaiensis*), балхашский окунь (*Perca schrenki*), пятнистый и одноцветный губач (*Nemachilus strauchi*, *N. labiatus*) и балхашский голяк (*Phoxinus poljakowi*). Среди вселенцев: короткоголовый усач (*Barbus brachycephalus*), серебряный карась (*Carassius auratus gibelio*), ерш (*Lucioperca lucioperca*), восточный лещ (*Abramis brama orientalis*), сибирский елец (*Leuciscus leuciscus natio*), карп (*Cyprinus carpio carpio*), шип (*Acipenser nudiiventris*), сом (*Silurus glanis*), линь (*Tinca tinca*), судак (*Stizostedion volgensis*). Промысловыми являются судак, сом, лещ, жерех.

Несмотря на сравнительную бедность ихтиофауны, в отдельные годы до строительства Капчагайского водохранилища общий улов рыбы в озере достигал 20-30 тыс. тонн, среди

которых около 70% представляли ценные породы; около 2/3 улова приходилось на Западный Балхаш. Еще в 1980-х годах на Балхаше добывалось более 10 тысяч тонн рыбы ежегодно, однако уже к 1990-м гг., в связи с разразившейся экологической катастрофой, добыча упала до 6.6 тыс. тонн, из которых ценных пород лишь 49 тонн (Концепция...). На сегодняшний день рыболовство в озере и его притоках незначительно, несмотря на это, вылов рыбы в озере остается важной отраслью экономики Казахстана.

В Прибалхашье гнездятся свыше 120 видов птиц, из них 12 занесены в Красную книгу, в том числе розовый и кудрявый пеликаны (*Pelecanus onocrotalus*, *P. crispus*), колпица (*Platalea leucorodia*), лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*) и орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*). Колонии пеликанов в дельте р. Или являются одними из последних в стране. На озере селится большое число уток, гусей, чаек, гагар, это ареал обитания больших бакланов (*Phalacrocorax carbo*), чирков (*Marmaronetta angustirostris*), фазанов (*Phasianus*), беркутов (*Aquila chrysaetos*) и белых цапель (*Egretta*). В связи с негативными экологическими изменениями, наблюдавшимися в последние несколько десятилетий, численность редких видов птиц в регионе резко сократилась.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Балхаш составляет около 413000 км<sup>2</sup>, причем около 15%, включая верховья р. Или, принадлежит КНР. Значительные ресурсы минерального сырья ставят бассейн в число приоритетных регионов в развитии производительных сил Казахстана (Концепция...), здесь открыты месторождения цветных, редких и благородных металлов, бурого угля, а также строительных материалов - цемента, мрамора, песка, щебня, глины. Несмотря на наличие перспективных запасов минерально-сырьевых ресурсов, их освоение ведется слабо и не редко с нарушениями экологических требований. Основой промышленности являются медьсодержащие и полиметаллические руды, базовая отрасль – цветная металлургия. В бассейне действует Балхашский горно-металлургический и Текелийский свинцово-цинковый комбинаты. Из других отраслей - завод свинцовых аккумуляторов в Талдыкоргане, фарфоровый завод в Капшагае, сахарные заводы в Боролдае и Жансугурове.

На 2005 г. на водосборе проживало 3.3 млн человек, в том числе жители Алма-Аты — крупнейшего города Казахстана. Самый большой населённый пункт, расположенный на северном берегу озера – г. Балхаш (74 тыс. жит.), градообразующим предприятием которого является Балхашский горно-металлургический комбинат. В поселках к северу от озера разрабатывается крупное месторождение меди, на западном берегу озера в районе г. Приозёрска расположено довольно много военных объектов, построенных еще в советское время. Южный берег практически не заселён.

Западная, пресноводная часть озера является основным источником водоснабжения ряда прибрежных населенных пунктов и Балхашского горно-промышленного узла. Отмечается, что существующее потребление воды на душу населения в регионе завышенное и, в среднем, в 3 раза, превышает научно рекомендуемую норму, его суммарная величина на уровень 2000 г. оценивалась в 3.73 км<sup>3</sup>.

Наряду с промышленностью в регионе активно развивается сельское хозяйство, причем не только на территории Казахстана, но и в северо-западном Китае, где производство хлопка, требующее значительного водозабора, является важнейшей отраслью хозяйства Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая (СУАР). На сегодняшний день в СУАР используется около 40% всех пахотных земель (UNEP, 2004) из которых орошаемые насчитывают 400 тыс. га, в ближайшее время их площади предполагается расширить до 600 тыс. га. На территории Казахстана общая площадь сельхозугодий составляет 8.18 млн. га из которых 6.53 млн. занимают естественные пастбища. Активно практикуется выращивание риса, оросительные системы созданы на Акдалинском массиве на площади 31.7 тыс. га с водопотреблением до 1.3 км<sup>3</sup>, и на Шингельдинском массиве орошения площадью 15.3 тыс.га с общим забором воды 0.166 км<sup>3</sup> в год. Общие площади орошаемых земель на уровень 2000 г. составляли 346 тыс. га (Концепция ...), причем за период после распада СССР они сократились в 1.6 раза.

На озере существует регулярное судоходство. Главные пристани: Бурылбайтал, Бурлитобе. Рекреационный потенциал озера и окрестные достопримечательности (урочище Бектау-Ата, тугайные леса) привлекают многочисленных туристов, имеются несколько пансионатов.

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Экологические проблемы оз. Балхаш обусловлены как естественными, так и антропогенными причинами. Одними из важнейших антропогенных факторов, оказавших крайне неблагоприятное воздействие на экологию оз. Балхаш, являются строительство Капчагайского водохранилища, а также чрезмерный разбор воды на орошение. Самый тяжелый период на озере наблюдался в 1970-1987 гг., когда на фоне климатически обусловленного снижения стока происходило заполнение Капчагайского водохранилища, кроме того, в это же время были существенно увеличены объемы водозабора. Из-за резкого нарушения соотношения между приходной и расходной частями водного баланса озеро стало катастрофически быстро мелеть, а его минерализация увеличилась. Многие виды местной фауны исчезли, значительно сократились рыбные запасы, происходили изменения в фитопланктонном сообществе, сопровождающиеся снижением ценных видов водорослей, наблюдалась смена растительности в прибрежной части озера.

Несмотря на некоторое улучшение ситуации после окончания заполнения Капчагайского водохранилища и наблюдавшийся с 1987 г. рост уровня воды в озере, экологические проблемы сохранились. Прежде всего, они связаны с возросшим водозабором, резко снизившим приходную часть водного баланса. Износ ирригационных систем на территории Казахстана превышает к сегодняшнему дню 60%. В последние десятилетия ни реконструкций, ни ремонта на водохозяйственных объектах не проводилось, как следствие – происходят большие потери воды, и озеро недополучает значительную часть необходимого объема стока. В этой связи с позицией о необходимости коренной модернизации всей ирригационной системы региона, разработанной большей частью много лет назад, на международной конференции в Европарламенте выступила профессор Ноттингемского университета С.О'Хара. Кроме водозабора на территории Казахстана, значительные объемы воды изымаются в верхней, китайской части бассейна р. Или. Здесь на уровень начала 2000 гг. водозабор составлял  $4.42 \text{ км}^3$  стока (Концепция ...), причем в ближайшее время КНР планирует увеличить водозабор еще на  $2 \text{ км}^3$ . Наряду с ирригацией в Китае ведется

активное гидроэнергетическое строительство, также нарушающее гидрологический режим верховьев р. Или. По мнениям экспертов, несмотря на увеличение ледникового стока на Тянь-Шане, повышение норм забора воды в Китае даже на 10% приведет к катастрофе, и оз. Балхаш может разделиться на два водоёма с последующим высыханием восточной части (Самакова, 2005). Водные отношения Казахстана с КНР регулируются в рамках подписанного в 2001 г. «Соглашения между правительством Казахстана и правительством КНР о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек». По мнению многих специалистов как внутри Казахстана, так и за его пределами, данное соглашение не содержит конкретных механизмов, ограничивающих водозабор в верховьях питающих озеро рек, находящихся на территории Китая. В 2007 г. Казахстан предложил льготный контракт на 10-летние поставки продовольствия в КНР в обмен на объём стока рек в оз. Балхаш, однако данное предложение было отвергнуто. В планы Китая входит активное развитие Синьцзян-Уйгурского автономного района в ближайшие десятилетия, базирующееся на увеличении гидроэнергетических мощностей и расширении сельскохозяйственных площадей.

Значительные экологические проблемы оз. Балхаш связаны также с вызванным строительством Капчагайского водохранилища изменением гидрологического режима его основного притока – р. Или и деградацией ее дельты. До строительства дельта р. Или представляла собой систему озер, рукавов, проток и стариц, перемежающихся с зарослями тростников и суходолов, и являлась местом обитания и воспроизводства рыбы, ондатры и диких зверей. Еще в 1980-х годах на Балхаше добывалось более 10 тысяч тонн рыбы ежегодно. Обильные заросли камыша служили прибежищем для многочисленных птиц и животных. В озере водились лебеди, розовые пеликаны, гуси. Изменение гидрологического режима ниже Капчагайского вдхр привело к сокращению площади дельты р. Или за период строительства с  $3046 \text{ км}^2$  до  $1876 \text{ км}^2$  и, соответственно, к снижению площади водноболотных угодий и тугайных лесов. В связи с изменением стока взвешенных наносов произошло заиливание проток, изменился режим затопления и прекратилось обводнение озерных систем, которых осталось лишь 5 из 16 (Концепция...). В сохранившихся системах

возросла минерализация воды, увеличилось содержание пестицидов и тяжелых металлов, причем как в воде, так и в донных отложениях, фито- и зоопланктоне, и в тканях рыб. Сократились площади тростниковых зарослей. Накопление ила в водохранилище привело к сокращению биогенного стока в дельту и, соответственно, к снижению плодородия пойменных почв. В результате упала урожайность сельскохозяйственных культур, фактически прекращено производство овощей и фруктов (Концепция...). К концу XX столетия, в связи с разразившейся экологической катастрофой на озере практически полностью исчезли лебеди и пеликаны, а также балхашские маринка и окунь. Некогда знаменитый балхашский судак оказался поражен раковым заболеванием – фибросаркомой. Почти исчезла акклиматизированная еще в 1940-х гг. в низовьях р. Или ондатра, основным пропитанием которой являлись корневища рогоза. На протяжении 1940-1960-х гг. ондатра хорошо размножалась, и ее промысел составлял порядка 1 млн зверьков в год. В связи с постоянными зимними паводками, возникающими в результате сбросов из Капчагайского водохранилища, и вырубкой камыша места обитания ондатры были разрушены. В результате сокращения численности промысел ондатры на сегодняшний день полностью прекращен.

Оз. Балхаш является важнейшим резервуаром воды Восточного Казахстана, в связи с этим увеличение минерализации его воды является насущной проблемой, требующей конкретных решений. Еще в 1980-е гг., когда в связи с заполнением Капчагайского водохранилища проблема резко обрисовалась, было разработано несколько проектов по снижению минерализации озера. Один из них был предложен учеными Института озероведения РАН и предусматривал сохранение западной части озера за счет строительства плотины восточней устья р. Каратал и в проливе Узун-Арал. Предполагалось, что это позволит сохранить озеро как природный комплекс площадью более 12 тыс. км<sup>2</sup> с минерализацией воды не выше 2 г/л (Давыдова и др., 1985). Однако, в силу того, что проект дорогостоящий, а Казахстан наряду с другими республиками бывшего СССР, в 1990-е гг. испытывал значительные финансовые трудности, проект был отложен. Приостановившееся снижение уровня озера на рубеже XX-XXI вв. позволило на некоторое время отложить принятие

экстренных мер по опреснению водоема. Однако, поскольку общая тенденция сокращения стока из-за его активного разбора на сельскохозяйственные нужды остается, без принятия соответствующих мер уровень озера в долгосрочной перспективе будет снижаться.

На общем фоне негативных процессов, наблюдаемых на озере в связи со строительством водохранилища, отмечается усиливающееся загрязнение его воды за счет бытовых и промышленных стоков. В озере наблюдается повышенное содержание сульфатов, фторидов, нефти, фенолов, а также тяжелых металлов. Постоянно фиксируются тенденции загрязнения Балхаша остаточными количествами ДДТ. Основными загрязнителями в регионе являются Балхашский медиплавильный завод со стоками которого в озеро поступает большое количество тяжелых металлов, прежде всего меди, и Балхашский горно-металлургический комбинат. В начале 1990-х годов объем выбросов Балхашского ГМК составлял 280—320 тысяч тонн в год, в результате чего на поверхности озера оседало 76 тонн меди, 68 тонн цинка, 66 тонн свинца. К середине 2000-х гг. объем загрязнителей увеличился почти вдвое (Самакова, 2005). Общий уровень загрязнения воды в 2000-е гг. в зал. Таран-галык оценивался в 3.7-4.0 ИЗВ, а в зал. М. Сары-Шаган – 4.5-4.8 ИЗВ (UNDP, 2004). По данным научно-производственного Центра рыбного хозяйства загрязнение компонентов гидробиосферы тяжелыми металлами становится доминирующим. Только за период 1995-2005 гг. содержание цинка в тканях рыб увеличилось в 11 раз, хрома - в 13 раз, никеля - в 2 раза, концентрации кадмия составляют 0.07-0.12 мг/кг, что в 1.4-2.6 раза выше, чем в воде озера.

Одним из источников поступления в озеро ядовитых веществ являются хвостохранилища, периодически дающие утечки, особенно большие концентрации распространяются при пыльных бурях (Самакова, 2005). Время от времени в прессе появляются заметки о катастрофических утечках из хвостохранилищ и о несанкционированных сбросах, осуществляемых рядом предприятий. Так, согласно публикации Балакешовой (2010) летом 2010 г. в связи с поломкой трубопровода, через который производственные отходы должны попадать на станцию хвостохранилища, металлургическое предприятие корпорации "Казахмыс" в течение 4 дней сбрасывало в озеро стоки со скоростью 1300 кубометров в час. Отходы данного

предприятия содержат тяжелые металлы и ядовитые вещества: медь, серу, прочие окислители.

Наряду с промышленным загрязнением наблюдается загрязнение озера сельскохозяйственными стоками. Активное развитие сельского хозяйства в регионе приводит к повышенному биогенному стоку и крайне негативно отражается на качестве воды, особую опасность имеет широкое применение пестицидов. Загрязнение поверхностных вод является одной из основных причин существующего дефицита питьевой воды в небольших населенных пунктах. Так, согласно данным (Концепция ...) в 42 населенных пунктах население живет на привозной воде, в 403 ее извлекают без очистки из водоемов, шахтных и трубчатых колодцев. Действующая водопроводная сеть большинства районных центров, центральных усадеб и рабочих поселков находится в аварийном состоянии.

Загрязнённые воды поступают в оз. Балхаш не только с территории Казахстана, но и из Китая. На пограничных пунктах в реках, питающих озеро, фиксируют сильное превышение содержания меди, достигающих 16 ПДК (Самакова, 2003) и других веществ, вода имеет V класс загрязнённости. Наблюдается загрязнение воды органикой, нефтепродуктами и другими веществами (Концепция ...).

Еще одной проблемой является чрезмерный выпас скота, усиливающий, наряду с развитием горнодобывающей промышленности, эрозию на водосборе.

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

Основная проблема оз. Балхаш связана с нерациональным использованием его водных ресурсов. С целью найти гармонию между природно-экологическим состоянием озера и нуждами водохранилища, использующегося для ирригации, коммунального водоснабжения и гидроэнергетики, в Алма-Ате была проведена крупная конференция «Балхаш 2000». В результате ее работы была принята резолюция и обращение к президенту, парламенту, правительству и международным организациям, раскрывающая новые принципы

управления экосистемой Балхаш-Алакольского бассейна. Спустя 5 лет был создан второй форум «Балхаш-2005». В то же время специалисты Регионального экологического центра Средней Азии вместе со специалистами Казгидромета, научных и неправительственных организаций разработали концепцию устойчивого развития Или-Балхашского бассейна. Вся совокупность целей укладывается в рамки трех направлений устойчивого развития:

- Сохранение и восстановление экосистемы Или-Балхашского бассейна и гидрологического режима оз. Балхаш, естественных (наземных и водных) экосистем как основного условия для сохранения и продолжения жизнедеятельности в регионе;
- Развитие экологически ориентированных видов деятельности, устойчивой энергетики и сельского хозяйства, транспортной и коммуникационной инфраструктуры;
- Развитие человеческого и социального потенциала, сохранение духовных и культурных ценностей.

Особое внимание уделяется вопросам сохранения озера, совершенствованию системы управления бассейном, развитию экологически безопасных и ресурсосберегающих видов деятельности, сохранению духовных и культурных ценностей в регионе. К сожалению, на сегодняшний день, по мнению заместителя генерального директора Евразийского центра воды Болата Бекниязова, несмотря на правильность разработанной концепции, лишь ряд рекомендаций был выполнен, не был создан Или-Балхашский природный парк. Программа 2006 - 2009 гг по решению экологических, водных проблем Балхаша не имела достаточного финансирования, оказалась слишком короткой по срокам и никак не связанной с областными и районными программами развития. Проблема нерационального использования водных ресурсов оз. Балхаш сохраняется и угрожает озеру потерей значительной части его акватории. Необходимость принятия действенных мер очевидна.

## Глава 6. КРУПНЕЙШИЕ ВЫСОКОГОРНЫЕ

К группе высокогорных озер относятся водоемы, водное зеркало которых расположено на значительной высоте, превышающей 1000-1200 м, со всех сторон они окружены горами, оказывающими заметное воздействие на климатические условия их водосбора. В данной главе нами рассматриваются только шесть таких водоемов: расположенное в Центральных Андах на плато Альтиплано оз. Титикака; находящееся в пределах Тибетского Плато оз. Цинхай (Кукунор); окруженное горами Северного Тянь-Шаня оз. Иссык-Куль, а также три крупнейших озера Армянского нагорья – Урмия, Ван и Севан, с древних времен известные как «три Великих Озера Великой Армении». Два из этих водоемов пресноводные, два – солоноватоводные и два – соленые. Наряду с этими водоемами к крупнейшим высокогорным озерам могут быть отнесены также рифтовые озера – Хубсугул и Киву и Большое Соленое озеро.

Все рассматриваемые нами озера находятся в бессточных регионах Земли. Из шести водоемов, описанных в данной главе, лишь оз. Севан и оз. Титикака имеют отток. При этом, вытекающая из оз. Титикака р. Десагуадеро, разгружается в оз. Поопо, лишь в годы высокой водности имеющее отток в бессточное оз. Койпаса, а вытекающая из оз. Севан р. Раздан относится к бассейну р. Куры, питающей внутреннее Каспийское море. Большинство рассматриваемых озер находится в средних широтах: озера Кукунор, Урмия, Ван, Севан и Иссык-Куль расположены в широтном промежутке от 36° до 43° с.ш., а оз. Титикака в низких – от 14° до 17° ю.ш. Несмотря на характерную для низких и средних широт высокую радиацию, из-за большой абсолютной высоты климат в бассейнах рассматриваемых озер отличается суровостью и крайней степенью континентальности, с огромной разницей годовых температур, низкими осадками и высоким испарением. При этом на климат близлежащих областей озера оказывают смягчающее воздействие.

### 6.1. ОЗЕРО ТИТИКАКА

Озеро Титикака расположено на границе Перу и Боливии, в Центральных Андах на плато Альтиплано. Его координаты: 14°07'-17°08'

ю.ш., 68°02'-71°06' з.д. Урез воды находится на высоте 3810 м над уровнем моря. Это самое большое пресноводное озеро Южной Америки с площадью водной поверхности 8372 км<sup>2</sup>. Длина озера 176 км, максимальная ширина 66 км, длина береговой линии – 1125 км. Средняя глубина озера – 107 м, максимальная – 283 м, объем заключенной воды – 930 км<sup>3</sup>. Время водообмена – 1343 года. Озеро состоит из двух суббассейнов: основного глубоководного и мелководного, соединенных проливом Текина, ширина которого в самом узком месте составляет около 800 м. Происхождение названия озера неизвестно. Оно было переведено как «Скала Пумы» или «Скала Лидерства». Местные жители называют озеро по-разному. Юго-восточную четверть озера боливийцы именуют «Лаго Хикьямарка», а основное озеро – «Лаго Чукюто». В Перу две эти части называются, соответственно, «Лаго Пекюэко» и «Лаго Гранде».

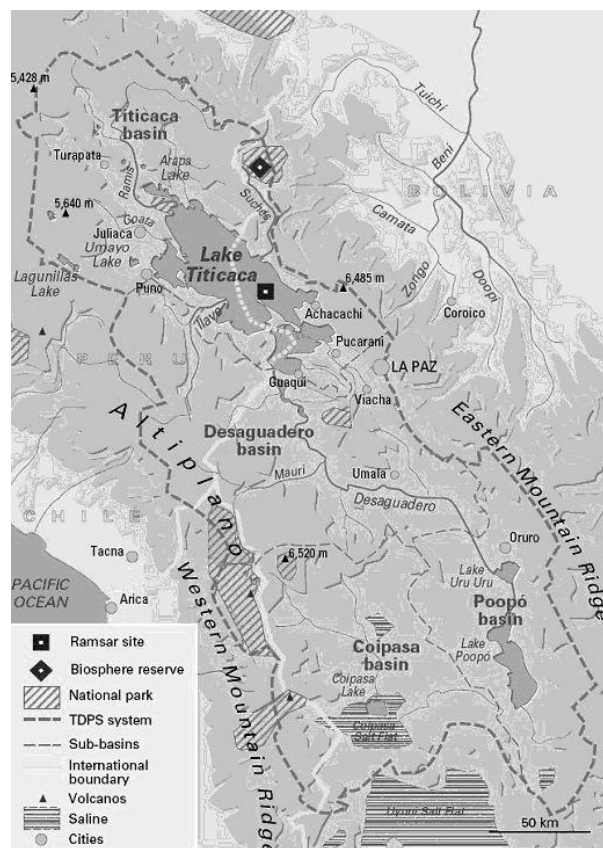


Рис. 6.1. Бассейн оз. Титикака. Источник: WWAP 2002

Водосборный бассейн оз. Титикака практически безлесный и покрыт грубой травой с рассеянными полями картофеля, ячменя и других местных зерновых культур. Само озеро



оконтурено болотистой камышовой зоной, которая является местом жительства береговых обитателей и сырьем для производства местных лодок. За небольшой полосой болот возвышаются холмы, поднимающиеся на высоту до 600 м. Около одной трети бассейна занимают горы, около половины которых имеют вулканическое происхождение (Revollo et al., 2006). На горных склонах произрастают невысокие кустарники. Карта бассейна оз. Титикака приведена на рис. 6.1. При этом необходимо отметить, что рассматривая оз. Титикака как внутренний водоем, к нему также обычно относят бассейн р. Десагуадеро (площадь частного водосбора 29843 км<sup>2</sup>), вытекающей из озера и несущей его воды в оз. Поопо (площадь частного водосбора - 24829 км<sup>2</sup>, высота водного зеркала 3686 м), а также оз. Койпаса (площадь частного водосбора - 32948 км<sup>2</sup>, высота водного зеркала 3657 м) в которое в годы высокой водности происходит разгрузка вод оз. Поопо.

Горы, окружающие оз. Титикака сформированы в меловой и эоценовый период. В начале миоцена они подверглись эрозии до пенеплена. В течение миоцена движения коры и блоков сформировали плато Альтиплано как депрессию между двумя горными хребтами Восточных и Западных Кордильер. В этот период установилась система внутреннего дренажа, которая существует до сегодняшнего времени. Согласно некоторым предположениям, в плиоцене плато Альтиплано возвышалось над уровнем моря всего на несколько сотен метров и было покрыто богатой тропической растительностью. В течение и после плиоцена тектонические движения, сформировавшие современные Анды, подняли весь район. При этом не наблюдалось больших изменений морфоструктур, но поднятие способствовало увеличению аридности климата.

Согласно последним палеолимнологическим исследованиям оз. Титикака является наследником древнего мегаозера Мантаро, возраст которого пока не установлен, но известно, что оно сформировалось где-то в четвертичный период (Revollo et al., 2006). В связи с активным испарением, характерным для плато Альтиплано, озеро постепенно уменьшилось в размере, пока не наступила фаза следующего оледенения. Периодическая смена ледниковых и постледниковых фаз в четвертичном периоде привела к перерождению озера Мантаро в оз. Кабана, а затем последнего - в озера Балли-

виан и Эскара. При отступании ледников на расположенном в аридном климате плато вновь достаточно быстро возникали условия, вызывающие уменьшение площади озер. Кроме того, в этот же период реки Ла-Пас на севере и Пилькомайо на юге перепилили ряд восточных Анд и захватили часть бассейна Альтиплано. В результате воды оз. Балливиан были частично разгружены в реки Ла-Плата и Амазонка, а само озеро распалось на два основных водоема – озера Таука и Минчин. Очередная смена ледниковых и постледниковых фаз привела к тому, что на месте оз. Минчин возникли современные озера Поопо и Койпаса, а оз. Титикака явилось наследником оз. Таука.

### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Первые поселения на берегу оз. Титикака датируются 8 тыс. лет до нашей эры, согласно мнению историков основным занятием проживающих здесь людей в это время была охота. В период с 8 по 2 тысячелетия до н.э. происходило активное освоение региона; археологи находят множество оставшихся с тех времен каменных орудий, использовавшихся для различных хозяйственных работ. Считается, что первые оседлые общины, занимающиеся сельским хозяйством, появились в регионе еще во 2 тысячелетии до н.э. Около XV в. до н. э. на берегу озера возникает крупнейший город региона Центральных Анд – Тиуанако. В XII в. происходит завоевание региона племенами колья (аймара). Инки завоевывают земли аймара в 1432 г (Revollo et al., 2006) и господствуют в регионе вплоть до появления европейцев в XVI в.

После прихода европейцев путь развития региона резко изменился. Испанские колонизаторы начали здесь активную добычу драгоценных металлов, используя местных индейцев как очень дешевую рабочую силу. В начале XIX в. заканчивается испанское господство и начинается республиканский период развития региона. Этот период связан с широкомасштабной экспроприацией земель и их передачей крупным помещикам. Такая система землевладения просуществовала вплоть до земельной реформы в Боливии в 1953 г. и в Перу в 1969 г. Новая реформа тоже не принесла местным жителям благополучия, так как в ее результате были снижены цены на сельскохозяйственную продукцию. В результате многовековой эксплуатации отношение коренного

Среднегодовое параметры климата, оз. Титикака

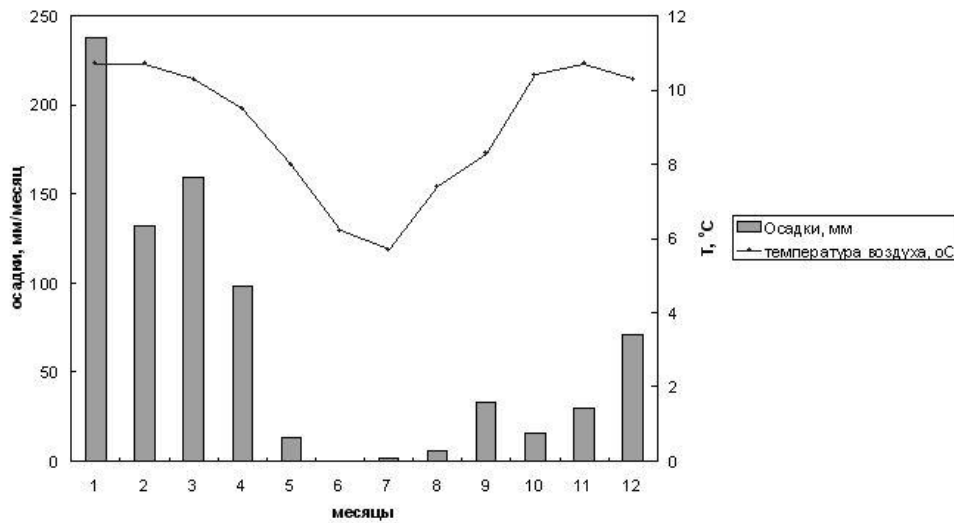


Рис. 6.2. Среднемесячные параметры климата по данным ILEC.

население к властям очень недоверчивое, усилия последних правительств обеспечить инфраструктуру в интересах развития городов еще более осложнили ситуацию в сельских регионах. Тем не менее, среди местных жителей появилось стремление к лучшей жизни, надежды и перспективы связываются в регионе с развитием туризма.

Значительная часть населения, проживающего в бассейне оз. Титикака – коренные жители, смешанное население характерно лишь для городов. На сегодняшний день этнически регион разделен на три зоны - зона кечуа на севере, зона аймара в центре и зона кечуа на юге. Кроме того, непосредственно на озере проживают индейцы урос. Еще инками они были вытеснены в свое время на острова, где и обитают до сегодняшнего дня. Урос занимают 42 искусственных острова, сделанных ими из местного титикакаского тростника. Толщина таких островов составляет около 1.5 м, их необходимо постоянно обновлять камышом сверху, так как нижние слои со временем сгнивают. Время жизни искусственных островов составляет около 30 лет. Обычно семьи заблаговременно строят новый остров, что занимает в среднем около полугода. Индейцы ловят рыбу и птиц, держат мелкую живность, однако основным источником их доходов в последнее время стал туризм.

Озеро Титикака играет огромнейшую роль в жизни народов, обитающих на его берегах. Оно

обладает богатой флорой и фауной и является важнейшим ресурсом воды для более двух с половиной миллионов человек, проживающих в его бассейне. Озеро является высочайшим в мире судоходным водоемом. Линия между Пуно (Перу) на северо-востоке озера и Гуаки (Боливия) на юго-западе является основной морской дорогой Боливии - внутренней страны, не имеющей прибрежных территорий. Однако особенно важную роль озеро Титикака играет в жизни таких индейских племен, как урос, продолжающих вести практически естественный (природный) образ жизни и целиком зависящих от его водных и биологических ресурсов.

**Климат. Характеристики термического режима**

Лето (декабрь-февраль) в бассейне оз. Титикака облачное и дождливое, зима (июнь-август) - солнечная и сухая (рис. 6.2). Температура воздуха изменяется в течение года от -10 до +23°C. Для региона характерны значительные различия между дневными и ночными температурами. Поступление солнечной радиации очень высокое, что объясняет значительные величины испаряемости. Суммарное испарение оценивается в среднем в 652 мм/год (Cathcart et al., 2007). Средняя величина осадков составляет 703 мм (Cathcart et al., 2007), при этом они изменяются в пределах бассейна от 200 до 1500 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в северной части водосбора и, непосредственно, на поверхность озера. Южная часть

региона, относящаяся к бассейну р. Десагуадеро и озерам Поопо и Койпаса, характеризуется значительной сухостью. Здесь разбросаны небольшие соленые водоемы.

Озеро Титикака - теплое мономиктическое. Для него характерен обширный эпилимнион, температура которого не сильно контрастирует с температурой гиполимниона. В течение лета и осени озеро стратифицировано со слоем температурного скачка, расположенного в марте на глубине 40-70 м и перемещающегося к июню на глубину 70-100 м. К середине зимы озеро по большей части своего объема становится изотермальным с температурой 11.1-11.2°C. На мелководье в наиболее холодные ночи может происходить образование ледяного покрова. К концу июля, в период изотермии, озеро перемешивается до глубины 100 м. Низкая концентрация растворенного кислорода и высокая концентрация кремния на глубинах 150-200 м до и после перемешивания свидетельствуют, что ниже глубины 150 м озеро может не перемешиваться (это явление наблюдалось в 1973 г.) (Richerson et al., 1987). Стратификация восстанавливается в сентябре и продолжается все лето (Powell et al., 1984).

#### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

Основной приток в оз. Титикака приносят 5 больших рек, стекающих с ледников, окружающих плато Альтиплано. Их среднегодовые расходы согласно данным Cathcart et al. (2007) составляют: Рамис - 76 м<sup>3</sup>/сек, Коата - 41.5 м<sup>3</sup>/с, Илаве - 38.5 м<sup>3</sup>/с, Ханкане - 20 м<sup>3</sup>/с и Сучез - 10.6 м<sup>3</sup>/с. Четыре реки имеют водосборы на территории Перу. Также в озеро впадают еще около 20 рек и многочисленные ручьи, стекающие со склонов плато и носящие временный характер. Большинство рек берет начало высоко в горах, в зоне распространения ледников. Кроме поверхностного стока питание озера происходит также за счет грунтовых вод. Основной, связанный с озером, аквифер расположен в средней и нижней частях бассейнов р. Рамис и Коата, в нижней части бассейна Илаве и по направлению от оз. Титикака до Оруро, и ограничен восточным горным хребтом. Отток из озера происходит по р. Десагуадеро в направлении оз. Поопо. Среднегодовой расход р. Десагуадеро составляет 89 м<sup>3</sup>/с при максимальном - 319 м<sup>3</sup>/с (Cathcart et al., 2007). Оз. Поопо фактически является бессточным, лишь в очень влажные

годы из него может происходить отток в направлении солончака Койпаса по водотоку Лака Джахуера. Соленость оз. Поопо колеблется от 15 до 100 г/л.

На долю оттока из оз. Титикака приходится лишь около 5% расходной части водного баланса, тогда как на испарение - более 90 % (Richerson et al., 1975) Величина испарения изменяется в пределах водосбора от 200 до 1400 мм, максимальные значения отмечаются в центральной части озера.

Из-за высокой вариативности климата уровень озера подвержен значительным колебаниям как сезонным, так и многолетним. За 100 лет наблюдений он изменялся в пределах 6.5 метров, тогда как годовые колебания уровня составляют около 1 м (Cathcart et al., 2007). Обычно в летние месяцы (с декабря по март) уровень повышается, а в зимние - снижается.

Раньше предполагалось, что в многолетнем разрезе уровень оз. Титикака постепенно снижается. Однако исследования последних лет опровергают эту точку зрения, были выявлены более-менее регулярные циклы падения и повышения уровня. В наиболее сухой период, наблюдавшийся приблизительно от 5700 до 5000 лет назад (Wirtmann, 1987) уровень озера был на 75 м ниже сегодняшнего. Приблизительно около 4500 лет назад озеро стало вновь наполняться (Baker, 2005). В результате под поверхностью воды в настоящее время оказались когда-то заселенные озерные террасы, содержащие памятники древней культуры (Erickson, 1988).

#### ***Основные характеристики качества вод***

Оз. Титикака в естественном состоянии характеризовалось высокой степенью олиготрофности и, соответственно, высокой прозрачностью воды, изменяющейся в течение года от 4.5 до 10.5 м. В последние десятилетия активная хозяйственная деятельность на водосборе ухудшила качество воды и способствовала снижению прозрачности и периодическому цветению сине-зеленых водорослей, особенно в прибрежной зоне, на мелководье. На сегодняшний день озеро по большей части своего объема рассматривается как мезотрофное. Минерализация повышенная и составляет по различным оценкам от 780 (ILEC, 1988) до 1030 мг/л (Hegewald et al., 1976). Электропроводность - 1541  $\mu$ S/cm, pH - 7.9-8.6 (Hegewald et al., 1976). Концентрация растворенного

кислорода в поверхностном слое от 4 до 5 мг/л или 95-102% насыщения. По данным (Gilson, 1964) зимой кислород присутствует и на глубине 150-180 м, где его концентрация составляет около 2 мг/л. Среди ионов преобладают  $Na > Ca > Mg > K$ ,  $Cl > SO_4 > HCO_3$ . Концентрация нитратов изменяется в течение года от 0.06 до 0.24 мг/л, зимой она несколько выше, летом - минимальная. Концентрация фосфатов также наименьшая в летний период и изменяется в течение года в пределах 0.01-0.023 мг/л у поверхности и 0.02-0.065 мг/л на глубине более 30 м.  $SiO_2$ , мг/л - 0.5-1 мг/л (ILEC, 1988).

### Основные биологические особенности

На мелководье оз. Титикака широко распространена высшая водная растительность, представленная воздушно-водными макрофитами: камышом (*Scirpus tatora*), щитолистником (*Hydrocotyle* sp.), лилеопсисом (*Lilaeopsis* sp.); плавающими: ряской (*Lemna* sp.), азоллой (*Azolla* sp.); погруженными: перистолистником (*Myriophyllum elatinoides*), харовыми водорослями (*Chara* sp.), элодеей (*Elodea potamogeton*), блестяжкой (*Nitella clavata*), рдестом (*Potamogeton strictus*), руппией (*Ruppia filifolia*), камышевиком (*Schoenoplectus californicus*), ситником (*Juncus arcticus*). Макрофиты покрывают значительные площади заливов, где глубина воды не превышает 2.5 м, формируя слабо проницаемые болотины, так в зал. Пуно растительностью занято 300 км<sup>2</sup> площади. В фитопланктоне доминируют сине-зеленые водоросли: *Lyngbya vacuolifera*, *Anabaena sphaerica*, *Nodularia harveyana*, зеленые: *Ulothrix subtilissima*, *Oocystis borgei*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Selenastrum minutum*, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, *Staurastrum paradoxum*, среди диатомовых - *Cyclotella stelligera*. (Gilson, 1964, ILEC, 1988). Фитопланктон не богат по количеству и разнообразию и достаточно однообразен в различных частях озера. В водах с повышенным содержанием солей преобладают диатомовые водоросли - *Botryococcus Braunii*. По данным (Widmer et al., 1975) среднемесячная биомасса фитопланктона изменяется в течение года от 13.5 до 30.8 мг С/м<sup>3</sup>. Минимальные значения характерны для весенних месяцев (сентябрь-ноябрь) и января, максимальные наблюдаются в конце лета, в феврале, марте, а также зимой, с мая по август.

Зоопланктон достаточно беден, доминируют веслоногие ракообразные: *Boeckella titicacae*,

*Microcyclops leptopus*, *Boeckella occidentalis*, *Eucyclops neumani*, *Paracyclops finitimus*, *Mesocyclops annulatus*, *Metacyclops leptopus*. Ветвистоусые раки представлены: *Ceriodaphnia quadrangula*, *Bosmina coregoni* var. *Bosmina huaronensis*, *obtusirostris*, *Daphnia pulex*, 9 видов коловраток, среди которых преобладает *Asplanchna* sp. (Gilson, 1964, ILEC, 1990, Bayly, 1995). В озере многочисленны моллюски, в т.ч. брюхоногие - *Taphius* spp. и пресноводные брюхоногие - *Littoridina* spp.. Многочисленной группой являются бокоплавы - *Hyalella*, обитающие на различной глубине, в том числе в донных отложениях. Представлены: поденки, стрекозы, полужесткокрылые, ручейники, жесткокрылые и двукрылые. Насекомые не многочисленны. Среди комаров-звонцов выявлены: *Chironomus*, *Polypedilum*, *Paratanytarsus*, *Syncricotopus*, *Pseudosmittia*, *Corynoneura* (Gilson, 1964).

Оз. Титикака богато рыбой, среди которой много эндемиков, особенно среди отряда кипринид рода орестии, которых насчитывается 40 видов. Наиболее многочисленны в рыбном населении орестии - *Orestias agassii*, *O. luteus*, *O. Pentlandii*, а также представители отряда сомообразных - трицхомистерии (*Trichomycterus rivulatus*), и отряда актериноподобные - базилихты (*Basilichthys bonariensis*). (LBRI & ILECF, 1988, Vaux et al., 1988). В озере также водятся представители семейства лососевых - голец (*Salvelinus namaycush*) и лосось (*Salmo gairdneri*) (Gilson, 1964). Подселение в 1930-е годы в оз. Титикака новых видов рыб (форели и мокрели) привело к снижению аборигенных видов, таких как орестии и трицхомистерии (Willcock 1994). Рыбная продуктивность на 1980 г. составляла 6327 тонн/год.

Среди отряда земноводных в озере встречается 18 местных видов, в том числе на мелководье широко распространены крупные лягушки (Telmatobiinae), представители семейства свистунов или зубастых жаб (Leptodactylidae), достигающие в длину 30 см.

На озере обитает около 60 видов птиц, в том числе титикакская поганка (*Centropelma micropterum*), ибисы (*Plegadis ridgwayi*), бакланы (*Phalacrocorax olivaceus*), цапли (*Phleocryptes melanops*), утки (*Anatidae*), чайки (*Laridae*), кулики (*Scolopacidae*), фламинго (*Phoenicopteridae*). В том числе исчезающие виды - *Phoenicopus cilensis*, *Phoenicopus janesi*,

*Phoenicopterus andinus* (Revollo et al., 2006).

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора озера Титикака составляет 58000 км<sup>2</sup>, здесь проживает 2.8 миллиона человек (Revollo et al., 2006). Темпы прироста населения составляют 1.6% в год. Большинство жителей существуют в условиях крайней бедности, так что борьба за выживание в данном регионе является приоритетной, тогда как образование и здравоохранение находятся на второстепенном уровне. Даже в одном из наиболее крупных городов бассейна – Пуно годовой доход не превышает 600 долларов США, тогда как в сельской местности он в разы ниже (Revollo et al., 2006). Количество неграмотных составляет более 20%, причем в сельской местности их большинство. Для региона характерны значительные проблемы со здоровьем, связанные, прежде всего, с бедностью, плохим питанием, недостатком чистой воды и низким уровнем санитарии. Лишь небольшой процент населения, преимущественно городского, имеет доступ к электричеству. При этом основным источником энергии (приблизительно на 70%) для сельских жителей является сжигаемая биомасса. К сожалению, рычаги для улучшения уровня жизни населения региона в настоящее время практически отсутствуют.

Основой местной экономики является сельское хозяйство в котором занято более половины трудоспособного населения. Среди выращиваемых культур – картофель и другие корнеплоды, некоторые бобовые. Урожайность низкая, прежде всего, в связи с ограниченным использованием удобрений и сельскохозяйственной техники. Кроме того, для региона характерны резкие перепады погоды, сильные морозы, частые засухи и периодические наводнения. Возвышенные земли на водосборе обеспечивают небогатое пропитание овцам, ламам и альпакам, тогда как ряд земель в понижениях и вдоль рек пригодны для ирригации. Доля сельскохозяйственных земель составляет около 1/3 от площади бассейна, что превышает его естественные возможности и свидетельствует о сверхэксплуатации земельных ресурсов. Почти все сельскохозяйственные земли принадлежат отсутствующим владельцам и обрабатываются очень небольшим индейским населением племен кечуа и аймара.

По берегам озера расположен ряд городов,

крупнейшим из которых является Пуно в Перу (около 100 тыс. жит.) и Джулиака (около 175 тыс. жит.) в Боливии. На территории Перу среди более крупных населенных пунктов на побережье - Помата, Джули, Платерия, Паукаркойла, Капачика, Пуси, Вилькечико, на территории Боливии - Хуарина, Гвакуи, Десагуадеро и Копакабана. В последние десятилетия рост городов происходит достаточно быстрыми темпами. Здесь строятся предприятия агропромышленности, а также мебельной и текстильной промышленности. Однако их количество пока невелико, а эффективность достаточно низкая. На водосборе развита горно-добывающая промышленность, в том числе рудная - добыча золота и олова, а также фосфатов, соли и гипса. В последние десятилетия в регионе постепенно набирает темпы туризм. На озере развито рыболовство, здесь работает около 11000 рыбаков (Revollo et al., 2006).

Водозабор в бассейне озера происходит как из поверхностных, так и из грунтовых вод. Общая величина водозабора составляет 0.3 км<sup>3</sup> в год, в том числе на нужды ирригации – 0.23 км<sup>3</sup> (Cathcart et al., 2007). Приблизительный водозабор грунтовых вод составляет 0.1 км<sup>3</sup> и используется преимущественно на питьевые нужды. Основное водообеспечение населения происходит за счет колодцев. Потенциально возможный водозабор на ирригационные нужды, обеспечиваемый из поверхностных вод, оценивается в 0.6-0.8 км<sup>3</sup>/год (Revollo, 2008).

### **Основные проблемы, существующие в бассейне озера**

Среди важнейших проблем, существующих в бассейне оз. Титикака и препятствующих его устойчивому использованию, Revollo et al. (2006), указывает следующие:

- естественные, природные проблемы, связанные с погодными явлениями;
- проблемы, связанные с недостаточным регулированием водных ресурсов;
- проблемы деградации окружающей среды;
- проблемы, связанные с социально-экономическими условиями в регионе.

*Природные проблемы* Климатические условия плоскогорья Альти-пано отличаются суровостью, значительной вариабельностью и частым возникновением опасных явлений, сказывающихся на природо-пользовании и человеческой деятельности. Большая часть

плато характеризуется суровым климатом, отрицательными температурами значительную часть года. На юге плато заморозки наблюдаются около 300 дней в году. Суровые климатические условия отражаются, прежде всего, на развитии сельского хозяйства, ограничивая его производство лишь небольшим набором выращиваемых культур и являясь основной причиной низкой урожайности.

К опасным явлениям в регионе относятся наводнения. Значительные ливневые осадки, наблюдавшиеся во второй половине 1980-х гг. привели к регулярным наводнениям низменных территорий близ озера, и затронули около 95000 га земель. Только ущерб от наводнений 1985-86 гг. был оценен в 125 миллионов долларов. (Revollo et al., 2006). Существенному подтоплению подвергались земли вдоль р. Десагуадеро и близ озер Уру-Уру и Попо. Среди других опасных явлений в регионе – засухи. Засуха 1982-83 гг. принесла убытков на 128 миллионов долларов, при этом потери урожая были оценены в 105 миллионов и потери в животноводстве – в 23 миллиона долларов (Revollo et al., 2006). Ущерб от засухи 1989-90 гг. оценивается в 88.5 миллионов долларов.

*Проблемы, связанные с недостаточным регулированием водных ресурсов* Как указывалось выше, в годы низкой водности в бассейне оз. Титикака острейшим образом выражены проблемы нехватки воды, что вызывает необходимость продуманного распределения водных ресурсов в интересах различных водопотребителей. В то же время в годы высокой водности значительную опасность для низменных земель представляют наводнения, приводящие к огромнейшему ущербу местной экономике. Проблемы усугубляются из-за слабого регулирования имеющихся в наличии водных ресурсов. Оптимизация их использования позволит минимизировать отрицательные последствия естественных колебаний водности, приводящих порой к катастрофическим последствиям.

С целью борьбы с наводнениями и обеспечения стока в маловодные годы в конце XX в. в бассейне озера были начаты работы по регулированию стока. План включает строительство двух плотин на р. Десагуадеро. Первая из них, сооруженная в 2001 г., расположена при выходе из озера, вторая будет сооружена в 40

км ниже по течению (Cathcart et al., 2007). Основное предназначение дамб – регулирование стока и защита пойменных земель, кроме того, они обеспечивают ирригационные нужды, защиту рыбного населения и аквакультурности. Строительство дамб позволяет защитить от разливов воды около 6000 га земли вокруг озера и около 10000 га в долине р. Десагуадеро, оросить около 50000 га земель в Перу и около 35000 га в Боливии. Строительство водохранилищ обеспечит увеличение рыбопродуктивности на 6000 тонн и сбор макрофитов массой около 50000 тонн/год. Кроме того, оно создает рекреационную зону вблизи поселений. Согласно расчетам, в идеале, зарегулированный уровень должен колебаться в диапазоне от 3808 до 3811 м. Кроме строительства дамб предполагаются работы по углублению русла реки для борьбы с осадконакоплением и улучшения ее гидравлики. Кроме р. Десагуадеро гидротехническое строительство предполагается и на реках питающих озеро. Его основная цель – увеличение площади ирригационных земель в регионе.

*Проблемы, деградации окружающей среды.* Недавнее развитие городов, специализирующихся на обрабатывающей промышленности, и нескольких туристических центров значительно сказывается на качестве озерной воды. Из расположенных на побережье оз. Титикака городов единственным, имеющим на сегодняшний день систему муниципальной очистки стоков, является г. Эль Альто. Согласно оценкам ILEC, 1988 загрязнение на озере в 1980-е гг. было ограниченным, однако к началу 2000-х гг. оно существенно возросло. Необработанные муниципальные стоки г. Пуно являются основным источником эвтрофирования внутреннего залива Пуно, оказавшегося наиболее затронутым антропогенным загрязнением. Поступление азота и фосфора в зал. Пуно еще в 1990-х гг. оценивалось в 19.6 и 7.5 метр. тонн, соответственно (Rivera, et al., 1991). Поскольку открытые воды оз. Титикака бедны азотом, сточные воды являются его основным поставщиком. В результате поступления биогенного вещества зал. Пуно на сегодняшний день достаточно плотно покрыт акварастительностью, распространяющейся до глубин 7-8 м. Кроме макрофитов широкое развитие в заливе получают сине-зеленые водоросли. Из-за необработанных стоков в зал. Пуно обнаружена высокая концентрация колиформ бактерий, составляющая на мелководье 620 - 1870

экз./100 мл. Такая концентрация лимитирует использование воды для питья и представляет потенциальную угрозу здоровью (Rivera, et al., 1991). С глубиной количество бактерий быстро падает. Значительное загрязнение наблюдается и в низовьях р. Коата, прежде всего за счет стоков города Джулиака.

Из-за развития на водосборе добывающей промышленности в речных водах, питающих озеро, в заметном количестве присутствуют тяжелые металлы. Донные отложения реки Коата загрязнены медью, кадмием, магнием, цинком, никелем и кобальтом. Однако загрязненность тяжелыми металлами вод оз. Титикака выражена слабо, и проявляется пока лишь в заливе Пуно. Вместе с тем, в верховьях вытекающей из озера реки Десагуадеро наблюдается повышенное содержание кадмия, а ниже по течению – магния, кобальта, никеля, сурьмы, марганца, мышьяка, меди, цинка и железа (Revollo et al., 2006). В результате, загрязнение тяжелыми металлами в оз. Поопо весьма значительно.

Важнейшей проблемой в бассейне оз. Титикака является почвенная эрозия, усиливающаяся по мере его хозяйственного использования. Более четверти водосбора уязвимы к эрозии. На сегодняшний день наблюдается чрезмерная эксплуатация земель, достигшая 35% от площади водосбора, что существенно превышает его естественные возможности, лишь 17% площади действительно пригодны для сельского хозяйства. Кроме того, на усиление эрозии влияет многолетний выпас скота, приводящий к выбиванию почв. Эрозия приводит к смыву почвы и настолько велика, что может изменить состав и структуру озерного и речного стока.

*Проблемы, связанные с социально-экономическими условиями* Слабость экономики и бедность местных жителей, особенно в сельских районах, не позволяет предпринять необходимых усилий для ограничения возрастающего загрязнения. На сегодняшний день в регионе, где интенсификация сельского хозяйства пока мало реальна, чрезмерная эксплуатация земель является жизненно необходимой. Быстрые темпы урбанизации значительно опережают темпы введения очистных сооружений, тогда как во многих населенных пунктах речь о них пока даже не заходит.

*Проблемы, связанные с глобальным потеплением* Среди проблем, которые угрожают оз. Титикака называют также глобальное потепление климата. Уже на сегодняшний день

ряд авторов (Valdez, 2009) видит проявление глобального потепления в наблюдающемся в последние годы снижении уровня оз. Титикака до минимальных значений прошедшего столетия, что, впрочем, могло быть вызвано естественными колебаниями климата. Однако реальной угрозой озеру является предсказываемое в связи с ростом температуры таяние ледников. Ледниковое питание является основным для рек, питающих озеро, и их возможное исчезновение в недалеком будущем катастрофически скажется на его водных запасах.

### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

После сильных наводнений 1986-89 гг., сменивших засуху 1983 г., с целью защиты и обеспечения рационального природопользования в регионе в 1993 г. Перу и Болтвией было создано двунациональное автономное управление оз. Титикака (ALT). При этом была объединена доступная в обеих странах информация по его водным ресурсам. Модель совладения не только обращается к водным ресурсам озера, но также к его водосбору, что гарантирует комплексное управление водной системой. Основными задачами объединенного управления озером являются: сосредоточение усилий с целью жизнеспособного природопользования; восстановление экологической целостности системы, в том числе восстановление исчезающих видов, пополнение рыбных запасов и смягчение антропогенного вмешательства; расширение человеческой активности в бассейне, в том числе ирригационное строительство, защита от наводнений и поднятие уровня жизни местного населения.

В силу своей высокой биологической вариативности оз. Титикака с 1998 г. является частью Рамсарских охраняемых территорий. В связи с усилившимся в 2000-е гг. загрязнением озера Всемирный банк выделил к 2008 г. \$20 миллионов на восстановление экологического баланса в районе озера. Средства будут расходоваться в течение 5 лет на развитие "цивилизованного туризма", обучение местных руководящих кадров методике рационального природопользования, а также на улучшение санитарно-гигиенических условий жизни коренных обитателей. Планируется провести в индейские селения водопровод, построить канализацию и очистные сооружения.



## 6.2. ОЗЕРО ЦИНХАЙ (КУКУНОР, КИНГХАЙ ХУ)

Оз. Цинхай (Кукунор, Кингхай Ху) – крупнейшее в Китае бессточное солоноватое озеро, расположенное на восточном краю Тибетского плато, на территории провинции Цинхай между автономными провинциями Хайнань и Хайбей (рис. 6.3). Его координаты:  $36^{\circ}32'$  –  $37^{\circ}15'$  с.ш.,  $99^{\circ}36'$  –  $100^{\circ}47'$  в.д., высота уреза воды расположена на 3195 м выше уровня моря. По берегам озера раскинулись равнины, которые как бы тремя высотными уровнями поднимаются по водосбору: от уреза воды до 3600 м, от 3800 до 4000 м и от 4200 до 4600 м. Непосредственно близ озера распространена пустынная и полупустынная растительность, переходящая в степную. С ростом абсолютной высоты, степь постепенно сменяется живописными лугами. В наиболее влажных понижениях, на высотах до 3600 м произрастает кустарничковая и, даже, лесная растительность. Равнинная часть (включая само озеро) составляет 31,4% от общей площади водосбора. Практически по всему периметру водосбора тянутся горы, возвышающиеся до 5714 м, и частично покрытые ледниками. Наибольшее оледенение характерно для хребта Шуленань и верховьев р. Янхань и Ксинджер (притоков р. Бухын-Нор). На горные территории приходится 68,6% водосбора. Общая площадь водосбора составляет 29661 км<sup>2</sup> (Cangjiang et al., 1995). Он вытянут с северо-запада на юго-восток, причем северо-западная часть намного обширнее, здесь расположен бассейн основного питающего озера притока – р. Бухын-Нор (14337 км<sup>2</sup>).

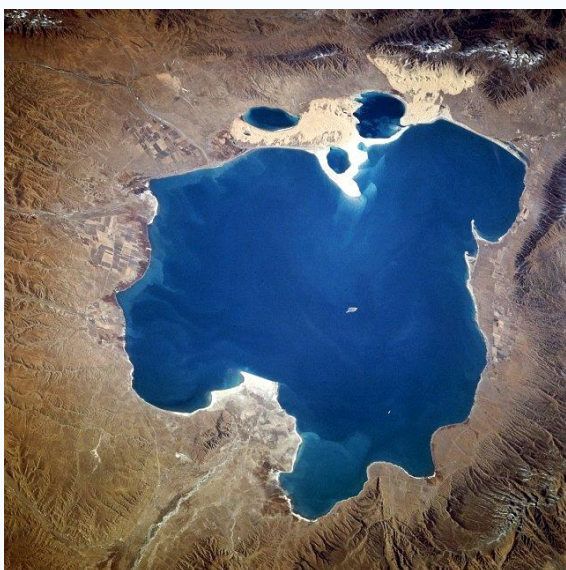


Рис. 6.3. Озеро Кукунор. Фото NASA.

Озеро имеет грушевидную форму, его длина составляет 109 км (с востока на запад), максимальная ширина – 65 км (север-юг). Максимальная глубина не превышает 27 м при средней глубине 16-19 м. Длина береговой линии 360 км. Площадь водной поверхности снижалась в течение всего XX века, ее увеличение наблюдается лишь с середины 2000-х гг (рис.6.4). На уровень 2007 г. площадь зеркала озера составляла 4489 км<sup>2</sup> (Xiao-Yan et al., 2007). На западе озера, при впадении в него самого многоводного притока – р. Бухын-Нор, сформирована обширная дельта, вдающаяся вглубь водоема. На озере расположено несколько песчаных островов, в том числе остров Куйсу.

Современное озеро Цинхай сформировалось за счет таяния ледниковых вод в течение последней эпохи плейстоцена. Оно занимает замкнутую тектоническую депрессию и состоит из двух подбассейнов – северного и южного. Берега озера слабо расчленены, вдоль побережья развиты древние озерные песчаные террасы высотой до 50 м (Обручев, 1940). Террасы вдоль большей части озера тянутся двумя грядами, в ряде районов – тремя. Высота нижней гряды обычно составляет 2-3 м, следующей – от 18,6 м над уровнем воды. Дно озера сложено преимущественно илами. Водосбор простирается на север к горам Кильян (Qilian), расположенным на северо-восточном краю Тибетского Плато, и характеризуется значительной тектонической активностью. Данные сейсмического анализа показывают, что донные осадки в некоторых частях бассейна тектонически деформированы. Сейсмические обзоры указывают, что южный подбассейн содержит непрерывную стратиграфическую последовательность отложений толщиной более 700 м (Zhisheng et al., 2006).

Водный режим озера Цинхай характеризуется регрессионным периодом: уменьшением его морфометрических параметров на фоне усиливающейся аридизации климата. Этот регрессионный процесс является частью долговременного тренда. Как показали результаты палеогеографических исследований, тренд уровня воды к снижению отмечается в течение нескольких тысяч лет (поздний голоцен). Первые натурные данные по морфометрии оз. Цинхай относятся к 1884-86 г.г., когда уровень воды находился на отметке 3207 м н.у.м., а глубина водоема оценивалась в 39 м.



**Рис. 6.4.** Морфометрические характеристики оз. Цинхай по литературным данным за разные годы.

По данным Обручева (1940) к 1927 г. уровень воды опустился примерно на 2 м, после чего продолжал последовательно снижаться вплоть до 2004 года. Лишь с 2005 г. наблюдался рост уровня, составивший за 5 лет 70 см.

В истории озеро имело несколько названий, как "Сихай" (Западное море), "Сяньшуй", "Сяньхай" и др. Название Цинхай появилось в период правления династии Северная Вэй (386-534 гг.) В переводе с китайского Цинхай (*Qīnghǎi Hú*) означает «синее море». Помонгольски озеро называется Кукунор (*Huhu Noor*), что также обозначает «синее море». Потибетски его название звучит Нгонгпоцо (*Ngongpo Tso*).

#### **История заселения и роль озера в жизни окружающих народов**

Водосбор оз. Цинхай начал заселяться в раннем голоцене, около 10 тыс. лет до н.э. (Rhode et al., 2007). В регионе находят стоянки древнего человека и оставшиеся в память от первых поселений каменные орудия и куски керамической посуды. На протяжении тысячелетий основным занятием местного населения были охота и скотоводство. В регионе обитали стада газелей, оленей, овцы. В более поздние времена район озера славился разведением прекрасных скакунов. В 312 году в регионе сложилось сяньбийское государство Тогон, просуществовавшее до его захвата тибетцами в 663 г. В 1724 году территория Цинхая была захвачена войсками династии Цин и включена в состав Китайской империи. После

уничтожения Джунгарского ханства в середине XVIII века на территорию Цинхая были переселены люди из северной части современного Синьцзяна, известные теперь как "кукунорские монголы". Среди европейцев первым озеро исследовал Н. М. Пржевальский в 1872 г.. В 1928 году Цинхай стал провинцией Китайской республики, с 1949 года - провинция КНР.

Озеро играет важную роль в жизни местных жителей. Из-за значительной солености его вода непригодна для питья и полива, так что основной вид использования водоема – рыбная ловля. Район озера Цинхай красив во все времена года и ежегодно привлекает большое количество туристов. Кроме того, оз. Цинхай является священным озером Тибета, к которому приходят паломники. В его западной части расположен остров Койсу с храмом и местами уединения – «Махадева, сердце озера», здесь на протяжении многих лет располагался буддийский монастырь. Добраться до острова или покинуть его можно только зимой, когда образуется ледяной покров, использование лодок в безледный период запрещено традициями.

#### **Климат. Характеристики термического режима**

Климат региона резко континентальный с прохладным летом и суровой зимой. За год выпадает около 300—500 мм осадков, преимущественно с июня по сентябрь. Величина испарения достигает 1460 мм. Температуры

Сток основных рек, впадающих в оз. Цинхай

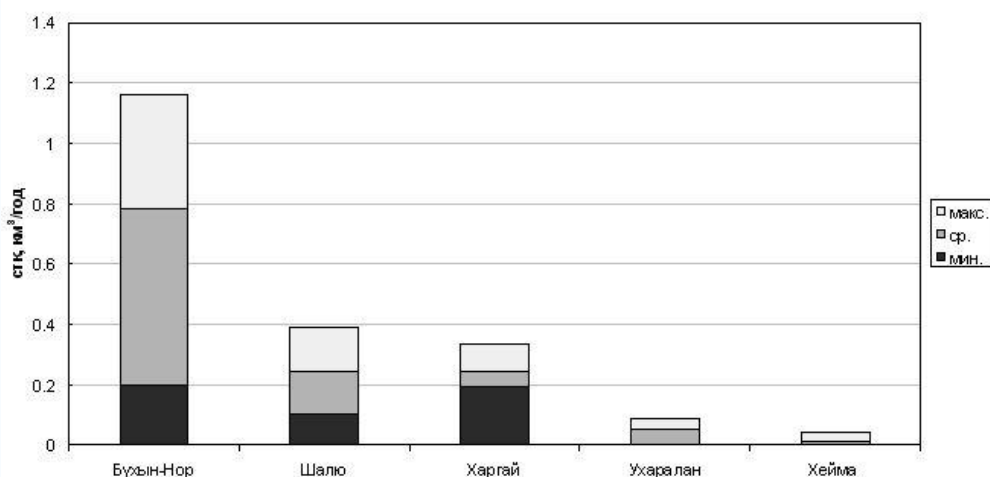


Рис. 6.5. Приток в оз. Цинхай по основным питающим его рекам, по данным Cangjiang et al., 1995.

воздуха колеблется от  $-12.7^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  в январе и от  $+10.4^{\circ}\text{C}$  до  $+28^{\circ}\text{C}$  в июле. Зимы холодные и сухие, в этот период погоду полностью определяют холодные воздушные массы с севера. Лето несколько более влажное, осадки обычно приносятся юго-восточными воздушными массами, проникновение которых сильно блокируется горами (Cangjiang et al., 1995). Для региона характерны значительные внутрисуточные колебания температуры.

Летом озерная вода у поверхности прогревается до  $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$ , тогда как на глубине 10–20 м она резко снижается до  $8^{\circ}\text{C}$ . (Williams, 1991). В холодное время года озеро замерзает, ледостав продолжается чуть более 3 месяцев с ноября по март/апрель. Толщина льда достигает 30–45 (68) см. Приповерхностная температура зимой составляет около  $1^{\circ}\text{C}$ , а на глубине - около  $2^{\circ}\text{C}$ . Зимой и летом на водоеме четко выражен термоклин. В январе он располагается на глубине около 5 м, летом - около 20 м. Гомотермия на озере наблюдается в мае и в октябре при температуре воды около  $10^{\circ}\text{C}$ .

Озеро чрезвычайно чувствительно к климатическим изменениям, поскольку находится в критической транзитной зоне между регионом с влажным климатом, управляемым Восточным азиатским муссоном и сухой внутренней областью Китая, которую контролируют западные ветры. Три основных системы атмосферного переноса определяют его климат: (i) зимний муссон, вызванный Сибирским высоким давлением и связанный с арктическим воздушным переносом; (ii) тропический влажный воздух,

который несет Восточный азиатский летний муссон, приходящий из низких широт; и (iii) климатические изменения в Североатлантическом регионе, влияние которых распространяется до рассматриваемого региона (Zhisheng et al., 2006).

#### *Характеристики водного режима и водного баланса*

Озеро Цинхай питает множество небольших рек и несколько крупных, в том числе Бухын-Нор, Шалю, Харгай, Ухаралан, Хейма (рис. 6.5). Многие реки носят временный характер, сток по ним проходит лишь после обильных дождей. Среднегодовой поверхностный приток в озеро составлял для второй половины XX века  $1.56\text{ км}^3/\text{год}$ . Большая часть стока (около 85%) проходит с мая по сентябрь и связана с таянием ледников и снега в горах и с выпадающими в летнюю часть года дождями. Грунтовый приток оценивается в  $0.875\text{ км}^3/\text{год}$  (Cangjiang et al., 1995).

Поскольку озеро расположено в пустынном регионе, в котором в последние столетия наблюдается усиление аридизации климата, уровень его воды фактически постоянно снижается. Исключения составляют кратковременные периоды повышенной водности, обычно не превышающие по продолжительности 5–8 лет. По данным экспедиции Обрчева, проходившей в первой половине XX в., оз. Кукунор в предыдущие столетия было многоводнее и заливало берега почти до подножия гор, покрывая также остров Куйсу. По его мнению, это доказывают много-



численные террасы, расположенные как на острове, так и на южном берегу озера и находящиеся на высоте до 50 м над уровнем озера (Обручев, 1940). В течение XX века усыхание озера происходило особенно интенсивно, так как к естественным климатическим изменениям добавился антропогенный фактор. Аридизация климата сопровождается дальнейшим опустыниванием территории. По данным Cheng Zhun (1994) с 1960 по 1990 гг. площадь пустыни в регионе расширилась на 15%.

Согласно гидрологическим наблюдениям, проводившимся на озере Цинхай в конце 1950-х – начале 1960-х гг, в озеро впадало 108 пресноводных рек, однако большинство из них заполнялись водой лишь после выпадения дождей. 50 рек имели длину русла более 5 км. Между 1959 и 2004 гг. наблюдалось постепенное снижение уровня озера, составлявшее в среднем 8 см в год. Понижение уровня было прервано непродолжительным, с 1983 по 1989 гг., его повышением, однако после 1989 г., вплоть до середины 2000-х гг., уровень опять стал снижаться. В результате последовательного падения уровня площадь поверхности озера за сто лет уменьшилась на 11.7 процентов. В 1998 г. Китайская Академия Наук сообщила, что из-за чрезмерного антропогенного воздействия в бассейне (прежде всего из-за выпаса скота, освоения земель, но также и за счет естественных причин) озеро находится под угрозой потери значительной части своей акватории.

Происходившее в течение XX века падение уровня озера сопровождалось появлением террас в его юго-западной части и отделением от единого большого водоема многочисленных небольших озер. С 1961 по 2004 г. водная поверхность озера сжалась на 450 км<sup>2</sup>. В 1960-ых гг. в северной части озера возник первый самостоятельный водоем – оз. Гахай площадью 48.9 км<sup>2</sup>. В 1976 г. расположенный когда-то в центре озера Птичий остров соединился с берегом, и превратился в полуостров. В течение 1980-ых гг. в северо-западной части водоема отделилось оз. Шадао площадью 19.6 км<sup>2</sup>, а в северо-восточной – оз. Хайянь - 112.5 км<sup>2</sup> (Buffettrille, 1994). К 1995 г. площадь озера снизилась до 4304.5 км<sup>2</sup> (Cangjiang et al., 1995), а объем озерной воды за 30 лет сократился на 11.5 км<sup>3</sup>. К началу XXI в. пересохло около 85% речных устьев, включая наибольший приток, реку Бухын-Гол, обеспечивавшую около половины притока в озеро. От водоема по его

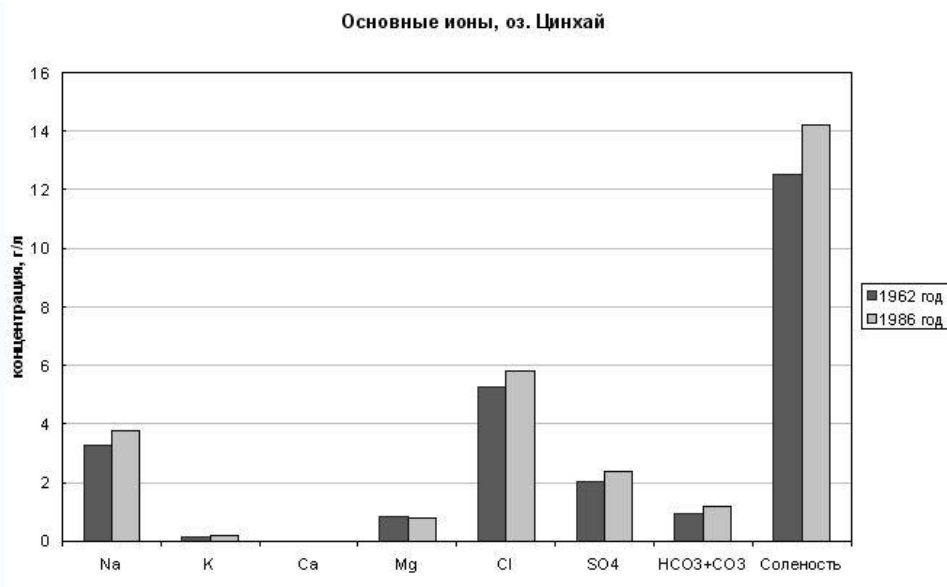
периметру отделилось еще с полдюжины маленьких озер. Самый низкий уровень воды наблюдался в первой половине 2004 г., когда от озера отпочковались озера-дочери общей площадью 96.7 км<sup>2</sup>, и площадь его водного зеркала сократилась до 4186 км<sup>2</sup>. С конца 2004 г., в связи с обильными осадками, выпавшими на водосборе, площадь водного зеркала оз. Цинхай начала увеличиваться. За 2005 г. Увеличение составило 78 км<sup>2</sup>, за 2006 - 88 км<sup>2</sup> и за 2007 - 137 км<sup>2</sup>, в результате к 2007 г. площадь зеркала достигла 4489 км<sup>2</sup>. Уровень воды в озере продолжал последовательно повышаться до 2009 г., и за 5 лет вырос на 70 см. В настоящее время озеро достигают 23 реки и водотока, против 16 в 2003 г.. В течение многоводных лет был полностью восстановлен сток по р. Бухын. Кроме обильных осадков во второй половине 2000-х гг. на увеличение уровня озера сказались также и природоохранные мероприятия, проводимые в районе с конца XX в

Средняя величина осадков на водосборе озера во второй половине XX в. составляла 357 мм в год, поверхностного притока – 348 мм и грунтового притока – 137 мм. Величина испарения оценивалась в 924 мм, общая величина водозабора в бассейне - в 10 мм (Xiao-Yan et al., 2007). Большая часть осадков, около 80%, выпадает с мая по сентябрь (Zhu et al., 2009). В многоводные 2004-2009 гг. осредненная величина осадков на водосборе возросла до 431 мм, одновременно наблюдалось увеличение стока и снижение испарения, связанное с более частой облачной погодой.

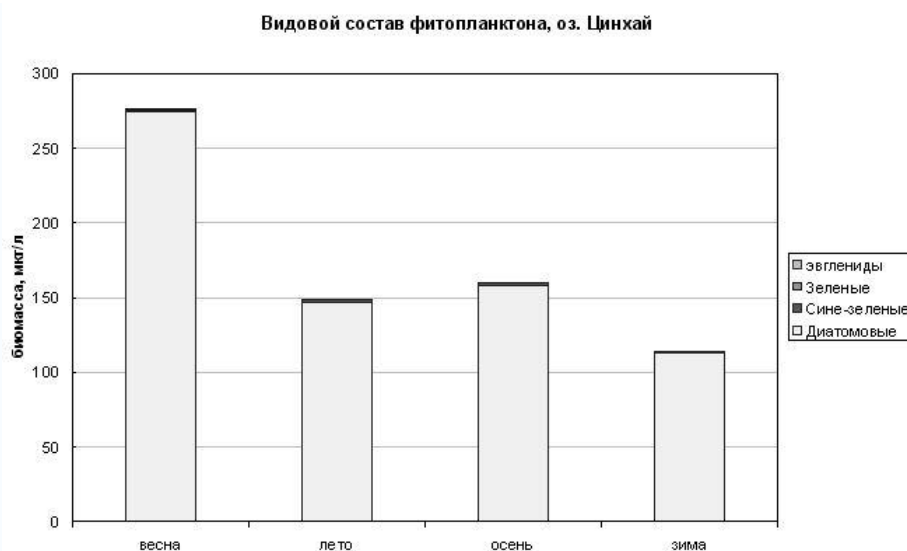
Согласно анализу, проведенному Xiao-Yan et al. (2007), наиболее значительное снижение уровня озера происходило в теплые и сухие годы, умеренное снижение - в холодные и сухие, и относительно небольшое снижение - в теплые и влажные годы. Эксперты предсказывают, что уровень оз. Цинхай в течение следующих двадцати лет может продолжаться повышаться (Zhang Mingyu, 2009). В этом случае к 2030 г он достигнет уровня начала 1970-ых гг., что более чем на 3 метра превысит сегодняшний. Тенденция холодного/теплого и сухого климата является главной причиной для снижения уровня озера.

#### **Основные характеристики качества вод**

В химическом составе воды оз. Цинхай преобладают ионы Na и Cl (рис. 6.6), наблюдается значительное количество сульфатов, рН воды составляет 9.2-9.4



**Рис. 6.6.** Химический состав воды оз. Цинхай, г/л по данным Hailiang Dong et al., 2006.

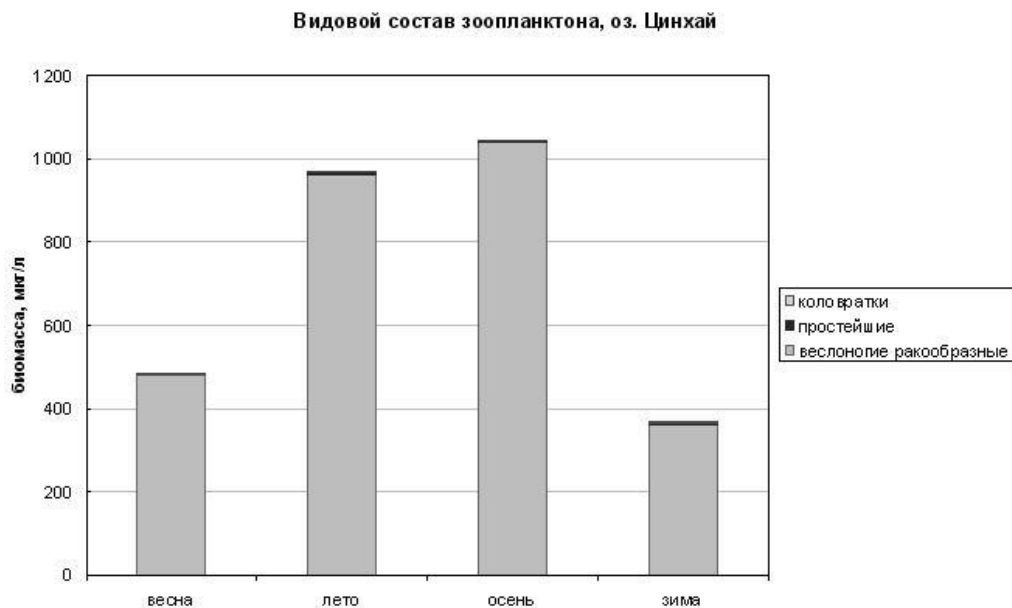


**Рис. 6.7.** Видовой состав фитопланктона на оз. Цинхай в разные периоды года по данным Cangjiang et al., 1995.

(Hailiang Dong et al., 2006). Цвет воды изменяется в зависимости от интенсивности освещения и наличия облаков от голубого до темно-зеленого. Прозрачность у берега составляет 1-3 м, в открытых областях 5-10 м. Содержание кислорода в воде достаточно низкое - 4.6 мг/л летом и 3.8 мг/л осенью, насыщенность - от 10.3 до 34.3%. Концентрация биогенных веществ низкая, общего фосфора - 20 мкг/л, азота - 80 мкг/л. Озеро имеет олиготрофный статус (Cangjiang et al., 1995).

Согласно анализу, проведенному Zhandong et al. (2009), химический состав озерной воды, а

также речных и подземных вод в его бассейне, прежде всего, зависит от возраста и типа выветриваемых пород, залегающих под речным ложем или являющихся водоносным слоем. Большинство растворимых ионов в бассейне оз. Цинхай происходит за счет вымывания карбонатов, и меньшая часть — силикатов. Самая крупная питающая озера река Бухын-Гол течёт по поздне-палеозойскому известняку и песчанику. Химический состав ее воды наиболее схож с составом озерной воды, и определяет его щелочную характеристику, тогда как воды других рек и подземные воды



**Рис. 6.8.** Видовой состав зоопланктона на оз. Цинхай в разные периоды года по данным Cangjiang et al., 1995.

играют буферную роль для состава озерной воды (Zhandong et al., 2009).

Согласно гидрохимическим наблюдениям, производимым на озере со второй половины XX в., соленость озерной воды постепенно возрастает. В 1961-63 г.г. общая минерализация составляла 12.5 г/л, в 1982 г. - 13.3 г/л, в 1986 г. - 14.2 г/л, а в 1988 г. - 17.1 г/л. В 1989 г. в связи с обильными осадками наблюдалось непродолжительное понижение минерализации (Williams, 1991).

#### **Основные биологические особенности**

В озере Цинхай встречаются несколько литоральных видов макрофитов. Идентифицировано 53 вида фитопланктона из которых 23 вида - диатомовые водоросли, 17 – зеленые, 10 – синезеленые и по 1 виду желто-зеленых, пиррофитов и эвгленид. (Cangjiang et al., 1995). Средняя численность фитопланктона 146304 экз./л, биомасса 175 мкг/л. В течение всего года по биомассе доминируют диатомовые (рис. 6.7), за ними следуют зеленые. Маты из зеленых водорослей покрывают дно озера в летние месяцы. В весенние месяцы основная масса фитопланктона находится в верхнем 6-метровом слое, летом на глубине от 10 до 15 м, зимой от 20 до 25 м.

В озере выявлено 25 видов зоопланктона, среди них 11 коловраток (*Pedalia fenica*, *Brachionus*,

*Hexarthra* sp.), 13 веслоногих ракообразных (*Arctodiaptomus retrogressus*, *Cyclop* sp.), и представитель простейших (*Carchesium* sp.). Среднегодовая численность зоопланктона составляет 34 экз./л, биомасса 716 мкг/л (Cangjiang et al., 1995). По биомассе доминируют веслоногие ракообразные из отряда циклопоида. Плотность зоопланктона значительно выше в летний сезон. Весной большая часть зоопланктона располагается на глубине, летом - у поверхности, осенью распределение по глубине достаточно однородно (рис. 6.8).

В озере выявлено 22 бентосных организма, в том числе 3 вида малощетинковых червей, в т.ч. *Nais* sp., *Paranais* sp., *Limnodrilus helveticus*, 4 ракушковых, в т.ч. *Cyprinotus salinus*, *Eucypris inflata*, *Limnocythere dubiosa*, *L. inopinata* 1 бокоплав – *Gammarus tacusta*, 14 комаров-звонцов прежде всего из семейства комаров-дергунов: *Procladius chorcus*, *Cricotopus sylvestris*, *Trichocladus inagqualis*, *T. senex*, *Psectrocladius barbimanus*, *Paratnyctarus dissimilis*, *Rheotanytarsus esignus*, *Tanytarsus coracina*, *Stictotendipes flavingula*, *Cryptochironomus digitatus*, *Tendipes salinarium*, *T. tugubris*, *T. hyperboreus*, *T. tentans*. Преобладают малощетинковые черви и комары-дергуны. Пик численности приходится на осенне-зимний сезон (Cangjiang et al., 1995).

Ихтиофауна представлена несколькими видами из отряда карпообразных: представителем се-

мейства карповых, эндемиком *Gymnocypris przewalskii*, а также балиториевыми: *Nemachilus stoliczkae*, *N. dorsonotatus*, *N. scleroperus*, *N. anticeps*, *Triplophysa alticeps*, *T. microps* (syn. *T. dorsonotatus*), *T. scleropterus* и *T. stoliczkae*. Лишь *Gymnocypris* обитает исключительно в озере, тогда как представители балиториевых живут преимущественно во впадающих в озеро реках. Годовые уловы рыбы в озере составляют 3000-6000 тонн/год (Cangjiang et al., 1995).

Озеро отличается богатством орнитофауны. Многие виды птиц либо постоянно живут на озере, либо используют его как место остановки на путях миграции. Здесь встречаются горный гусь (*Anser indicus*), черноголовый и коричневоголовый хохотун (*Larus ichthyaetus*, *L. branicephalus*), большой баклан (*Phalacrocorax carbo*) и др. Каждый апрель тысячи птиц прилетают размножаться на расположенные на озере острова. Они откладывают здесь свои яйца, выращивают потомство и к зиме улетают на юг. В связи с повышением уровня воды, наблюдавшегося в регионе в последние 5 лет, и расширением площади заболоченных земель, количество птицы на озере увеличилось (Zhang, 2009). Прежде всего, это касается лебедей, численность которых в 2009 г. достигла 4275 экз.

В связи с прохождением через озеро нескольких маршрутов перемещения птицы вдоль Евразийского континента, оно является центром глобального беспокойства, связанного с эпидемией птичьего гриппа, поскольку возникающая здесь большая вспышка может распространить вирус по всему континенту. Незначительные вспышки H5N1 уже были зафиксированы на озере.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Провинция Цинхай, в которой расположено озеро, многонациональная, хотя по китайским меркам сравнительно малонаселенная, здесь проживает около 5.5 млн. человек при этом в бассейне озера – менее 1 млн. Основным видом деятельности местных жителей на протяжении веков являлись сельское хозяйство и рыболовство. На водосборе раскинулись обширные пастбища и плодородные поля, доля которых, однако, заметно сокращается по мере аридизации климата и опустынивания территории. Под пастбища возможно использовать 63.5% водосбора. На начало 1990-х гг. здесь выпасалось около 2.5 млн. животных. Под

пашней занято около 20000 га, из которых 13000 - ирригационные земли (Cangjiang et al., 1995). Среди основных выращиваемых культур – рапс, ячмень, пшеница, овес, а также овощи – капуста и бобовые. Возделываемые земли расположены недалеке от озера, вдоль его северного и южного побережий. В результате наблюдающегося в регионе опустынивания, ряд площадей, ранее занятых под пашней, более не могут использоваться и засоляются. Согласно Cheng Zhun (1994) в 1970-1980-е гг. на водосборе ежегодно терялось 14.7 км<sup>2</sup> пашни. Несмотря на то, что в последнее десятилетие ряд предпринятых природоохранных мер позволил снизить негативное антропогенное воздействие на водосборе озера, процесс опустынивания продолжается.

Важной статьей дохода местных жителей является рыболовство. Рыба - это один из основных продуктов питания местного населения, особенно людей с небольшим достатком. Промысел ориентирован на представителей семейства карповых, годовые уловы сильно колеблются, в 1990-е гг. они составляли около 3000 т., при этом нелегальное рыболовство оценивалось в десятки тонн.

В последние десятилетия значительное внимание властей стало уделяться промышленному развитию провинции Цинхай. Здесь имеются богатые запасы полезных ископаемых. Так, в Цайдаме есть значительные залежи соли, свинца и цинка, нефти и угля. Запасы соли в основном находятся в нескольких крупных озерах. В оз. Цинхай имеются также бор, литий, магний, калий и другие нужные металлические соли. Запасы калийной соли оцениваются в целом по провинции в 300 млн. тонн, а пищевой соли - в 60 млрд. тонн. В настоящее время разработки пищевой соли активно ведутся в восточной части Цайдама в Чака. Также в восточной части Цайдама в горах Сикуаншань находятся свинцовые и цинковые шахты. Запасы этих металлов большие, залегают они неглубоко, годовые мощности шахт составляют до 1 млн. тонн. Наряду с развитием горнодобывающей промышленности, в провинции в последние годы активно строятся предприятия обрабатывающего комплекса, прежде всего химической промышленности и металлургии, а также предприятия по производству оборудования и современных материалов. Большое внимание уделяется развитию энергетики, в том числе использованию энергии ветра и солнца (ChChR, 2007).



### **Основные проблемы, существующие в бассейне озера**

Важнейшей экологической проблемой озера является его постепенное усыхание на фоне происходящего опустынивания окружающей территории. Изменение площади озера на протяжении последних 50 лет рассматривалось выше. Наряду с сокращением водной поверхности происходит снижение площади водно-болотных угодий, являющихся местом обитания богатейшего птичьего населения. В течение второй половины XX в. скорость их исчезновения составляла около 2 км<sup>2</sup>/год. Среди причин снижения уровня озера наряду с наблюдающейся в регионе аридизацией климата называется также ряд антропогенных факторов - чрезмерный выпас, бесконтрольная вырубка и строительство дорог на водосборе, а также увеличивающийся водозабор из питающих озеро рек. Согласно Jin (1995) на уровень начала 1990-х гг. водозабор оценивается в 50 млн. м<sup>3</sup>/год, что составляет около 3% от общего годового притока.

Развивающаяся в регионе промышленность и сельское хозяйство, а также растущие городские поселения приводят к загрязнению поверхностных вод разнообразными стоками, попадающими в озеро. Среди основных загрязнителей – химические удобрения, пестициды, тяжелые металлы, нефтепродукты. Несмотря на то, что количество стоков пока невелико и озеро сохраняет свой олиготрофный статус, ряд показателей свидетельствуют о постепенно происходящих процессах эвтрофирования.

Ежегодно с речным стоком в оз. Цинхай попадает 498000 тонн ила (Cangjiang et al., 1995), в том числе 355000 тонн со стоком р. Бухын. Происходит постепенное заполнение его чаши. Развитие эрозионных процессов, связанное с антропогенным фактором, вызывает ускорение седиментации. Это приводит к множеству нежелательных последствий, седиментация отрицательно сказывается на нерестилищах карпа а, соответственно, на его уловах.

Озеро Цинхай представляет собой объект научного интереса, проявляя себя как чувствительный палеоклиматический индикатор.

### **6.3. ОЗЕРО ИССЫК-КУЛЬ**

Озеро Иссык-Куль расположено в северо-восточной части республики Кыргызстан и окру-

жено горами Северного Тянь-Шаня (рис. 6.9). Координаты озера: 42°08' - 42°44' с. ш., 76°10' - 78°20' в. д, высота - 1608 м над уровнем моря. Оз. Иссык-Куль – самое крупное горное озеро на территории СНГ. Его площадь составляет 6236 км<sup>2</sup>, длина 178 км, ширина 60 км, максимальная глубина 668 м, средняя – 278.4 м, объём воды 1738 км<sup>3</sup> (Кодяев, 1973; Забиров, Коротаев, 1978). Форма озерной чаши напоминает перевернутый усеченный конус. На его нижнюю часть с глубинами более 600 м приходится около 20% от всей площади озера. Шельфовая зона имеет глубины до 300 м и представлена полосой древних террас выровненных 40-50 метровым глубоким каньоном. Около 38% площади озера имеет глубины менее 100 м, это наиболее заселенная его часть. Берега слабо расчленены, глубокие заливы есть только на востоке и юго-востоке (Тюпский, Джергаланский, Покровская бухта). Длина береговой линии 669 км, более половины ее составляют песчаные берега, также распространены илистые и галечные берега (А.В.Шнитников, 1980).



**Рис. 6.9.** Озеро Иссык-Куль. Фото NASA.

Возраст оз. Иссык-Куль составляет по различным источникам от 10 до 25 млн лет, это одно из древнейших озер на Земле. Его котловина имеет тектоническое происхождение, она образовалась вследствие разломов, сбросов и прогибов земной поверхности. Обширная ее часть опустилась и заполнилась водой, в то время как соседние участки поднялись на 3000—3500 м над уровнем озера создав горные хребты к югу - Терской-Алатау (тюрк. “Пестрые горы, обращенные от солнца”) и к северу - Кунгей-Алатау (“Пестрые горы, обращенные к солнцу”).

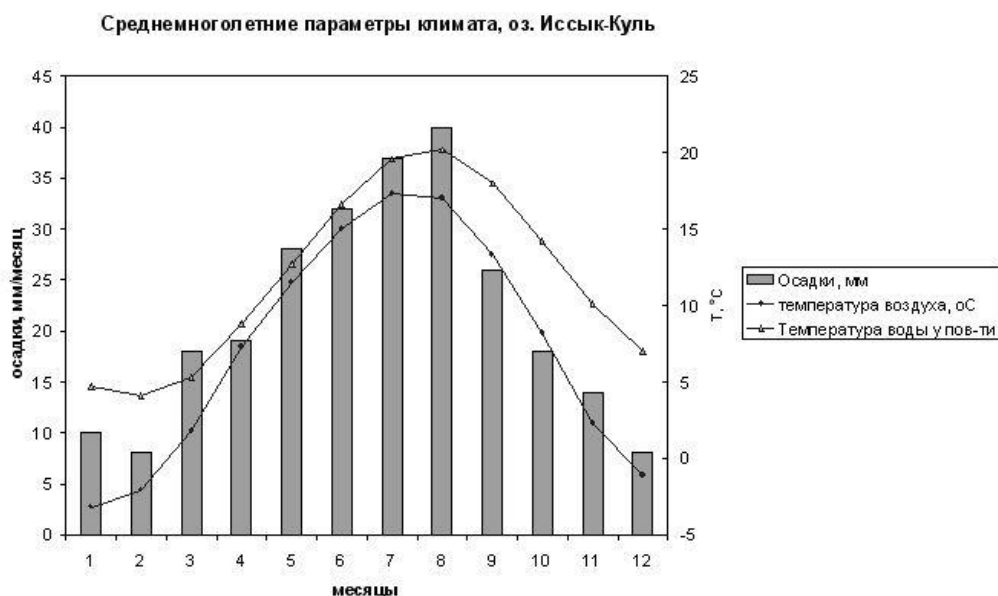
Бассейн оз. Иссык-Куль имеет овальную форму. Озеро окаймляет прибрежная полоса типичной предгорной равнины, сложенной речными и озерными отложениями. Согласно градиенту аридности климата с запада на восток тянутся различные типы ландшафтов. Западная подветренная часть котловины озера представляет собой каменистую солянково-полюнную пустыню, к востоку ландшафты приобретают сначала полупустынный характер (с полынно-злаковыми покровами и караганой), а затем степной и лугово-степной (Исаченко, Шляпников, 1989). Равнина граничит с крутыми расчлененными склонами горных хребтов, за исключением восточной и юго-западной частей котловины, где равнина отделена от высоких водораздельных хребтов полосами предгорий. Ширина предгорной равнины не превышает нескольких километров, наибольшего развития она достигает на востоке Иссык-Куля в долине р. Джергалан и изрезанной притоками и рукавами долине р. Тюп. Приозерная равнина по мере приближения к горам сменяется предгорьями (адырами). Иногда предгорья выступают в виде обособленных возвышенностей, превышающих равнину на 300—1100 м, а в среднем на 700 м; они сложены рыхлыми отложениями и пересечены речными долинами и саями (сухими руслами). На высоте 1850—2100 м на западе находится предгорно-среднегорная степная зона с сухими степями на бедных коричневых почвах и сероземах, на востоке произрастает более богатая степная растительность на темно-каштановых почвах, которые широко осваиваются под богарное (неполивное) земледелие. Наиболее крупные возвышенности: Чаар-Джон (2722 м), Чон-Тосма (2382 м), Кара-Бельтек (2668 м), Бельбулак и Джанбулак (2364 м), Кара-Кунгей (2653 м) и др. Южная береговая линия Иссык-Куля местами, особенно на южном побережье, настолько близка к предгорьям Терской-Алатау, что воды озера омывают подножия адыров Кызыл-Чокду, Кызыл-Эшме и Бозбешик. С ростом высоты по восточному побережью, по ущельям Терской Алатау, произрастают густые еловые леса. Высота гор, окаймляющих озерный бассейн с северной и южной сторон достигает 4000-5200 м. На их склонах располагается 834 ледника общей площадью 650 км<sup>2</sup> (около 3% от площади водосбора) и суммарным объемом 48 км<sup>3</sup>. В последние десятилетия, в связи с наблюдающимся в регионе повышением температур воздуха определяемым глоба-

льными изменениями климата, отмечается сокращение площади ледников (Ваитов, 2003).

В озеро впадает 102 сравнительно небольших притока, из которых лишь 50 постоянных (Savvaitova, Petr, 1999). Наиболее крупными из них являются впадающие с востока р. Тюп и р. Джергалан, общий средний годовой расход воды которых составляет 8.3 м<sup>3</sup>/с и 17.1 м<sup>3</sup>/с, соответственно. Питание рек смешанное, с преобладанием снегового и высокой долей ледникового. Кроме того, озеро питает значительное количество горячих источников. По западной окраине котловины озера, в нескольких километрах от него, протекает р. Чу. Раньше в многоводные эпохи, когда уровень озера был выше современного на 10-12 м, по ней происходил отток из озера, однако, уже около 200 лет оз. Иссык-Куль лишено стока. Согласно Шнитникову (1980) по протоке Кутмалды длиной в 6 км, периодически, во время весенних половодий, происходит приток в озеро вод р. Чу.

#### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Еще с древних доисторических времен земли вокруг оз. Иссык-Куль привлекали к себе людей. На побережье обнаружены пещеры каменного века, древние могильники и курганы. Первое письменное упоминание об оз. Иссык-Куль встречается в китайских летописях конца II века до нашей эры, где оно называется Же-Хай, что означает «тёплое море». В 1-ом тысячелетии до н. э. и в первом тысячелетии н.э. уровень оз. Иссык-Куль находился значительно ниже сегодняшнего (на 8-10 м). В этот период здесь развивались различные цивилизации, следы которых затем ушли под воду. На сегодняшний день археологам Киргизии известно более десятка древних и средневековых поселений, находящихся под водой. В них обнаружено множество исторических и культурных ценностей саксо-усуньского периода (I тысячелетие до н.э.) и раннего средневековья. В 2006 г. Археологической экспедицией Кыргызско-Российского Славянского университета на дне озера была обнаружена еще одна, неизвестная ранее цивилизация, проживавшая на озере около 5 в. до н.э. Данные и полученные экспонаты свидетельствуют, что обнаруженный на дне древний город являлся столицей некоего государства. От города площадью несколько квадратных



**Рис. 6.10.** Среднегодовое климатические параметры оз. Иссык-Куль (ст. Чолпон-Ата).

километров сохранились огромные стены, протяженностью до 500 метров.

Со 2-ой половины VII века мимо оз. Иссык-Куль проходил «Шелковый путь» из Европы в Китай. Вдоль трассы шелкового пути, в Прииссыккулье началось активное строительство поселений. Вплоть до прихода в Среднюю Азию орд Чингисхана (начало XIII в.) города Прииссыккулья расстраивались и богатели. После опустошительных рейдов монголов города вдоль трассы Шелкового пути деградировали, и этот процесс оказался необратимым. летописцы походов Тимура (конец XIV в.) уже не отмечали существование значительных городов на Иссык-Куле. Окончательное уничтожение средневековых поселений на побережье завершило само озеро, к XVI веку его уровень существенно вырос, и оно полностью затопило все города.

Оз. Иссык-Куль играет важнейшую роль в жизни народов, проживающих по его берегам. Несмотря на то, что соленость его воды достаточно высокая, чтобы использовать ее для питья и орошения, периодически озерную воду дают скоту. Реки, питающие озеро, поддерживают сельское хозяйство региона. Озеро активно используется для рыбной ловли. На озере существует регулярное судоходство, основные порты — Рыбачье и Пржевальск. Огромное значение озеро играет как центр туризма и бальнеологический курорт.

### **Климат. Характеристики термического режима**

Вследствие орографической замкнутости котловины, климат в бассейне озера своеобразный, почти морской, он мягче, теплее и влажнее, чем в других впадинах Тянь-Шаня, расположенных на той же высоте. По термическому режиму Иссык-Куль - субтропическое озеро, здесь летом на побережье умеренно-тепло, зимой - не холодно, средняя температура воздуха составляет в июле от 16 до 17°C, в январе от -2 до -10°C (рис. 6.10). Среднее количество осадков над озером - около 250 мм. Западная часть котловины более засушливая, дожди здесь редки, снега почти не выпадает, даже в горах количество осадков не превышает 115 мм в год, тогда как на восточном берегу - 400 - 600 мм. Необходимо отметить, что в последние годы увеличилось количество осадков, а также наблюдается повышение температур воздуха в высокогорье, составляющее в среднем 0.2°C, а в летние месяцы - 0.6°C (Вагтов, 2003).

Температура воды на поверхности озера в январе-феврале у южного побережья составляет 5-6°C, а в западной части озера 2-4°C, несмотря на отрицательные температуры воздуха она, за исключением мелководных устьевых участков, не опускается ниже температуры максимальной плотности (2.75°C при солености 6 промилле). Лед образуется лишь в особо холодные зимы в заливах Рыбачий, Тюп. образованию льда вдоль берега



также препятствуют выходы горячих источников. Весеннее прогревание, начинающееся в марте, затрагивает лишь верхний десятиметровый слой водоема. В апреле-мае тепло проникает до глубины 100-м, где изменения температуры составляют около 0.1°C, а на глубине 75 м – 0.7°C. К середине апреля поверхностная температура поднимается на 6.5-8°C, а к середине мая на 10-12°C (Shabuninet al., 2002). В июле и августе поверхность водоема у побережья прогревается до 17-23°C, а в ряде районов до 29-30°C, тогда как на глубине свыше 100 м в течение всего года температура остается около 3.5-4°C. В центральной части вода остается холодной весь год.

В Иссык-Кульской котловине преобладает теплый и сухой западный ветер, приходящий через Боомское ущелье и носящий местное название “улан” или “боом”. Холодный восточный ветер “санташ” иногда встречается над озером с западным ветром и вызывает образование водяных смерчей. На западе и востоке озера часты сильные ветры (до 30-40 м/сек), вызывающие внезапные шторма и ветровые волны высотой до 3-4 м, каждый четвертый день на оз. Иссык-Куль - штормовой. Не редки на озере прибрежные ветры - бризы: днем они дуют с озера на берег (по-местному “морской ветер”), а ночью - с берега к воде (“горняк”). (А.В.Шнитников, 1980). Взаимодействие восточных и западных ветров, которые часто дуют одновременно внутри бассейна, вызывает образование циклонов с дивергентной зоной в центре озера и конвергентной по его периферии. Последствием этого является поднятие холодной воды в центральной части озера наряду с погружением теплой поверхностной воды в сублиторальную зону. Центр купола с холодной водой в гипolimнионе под воздействием изменения расположения термоклина дрейфует в пределах центральной части озера вследствие штормовых ветров различного происхождения, в межштормовой период купол сглаживается. Крутизна купола обычно увеличивается в течение осенних штормов. Как результат описанных процессов озеро в течение теплого сезона аккумулирует большое количество тепла.

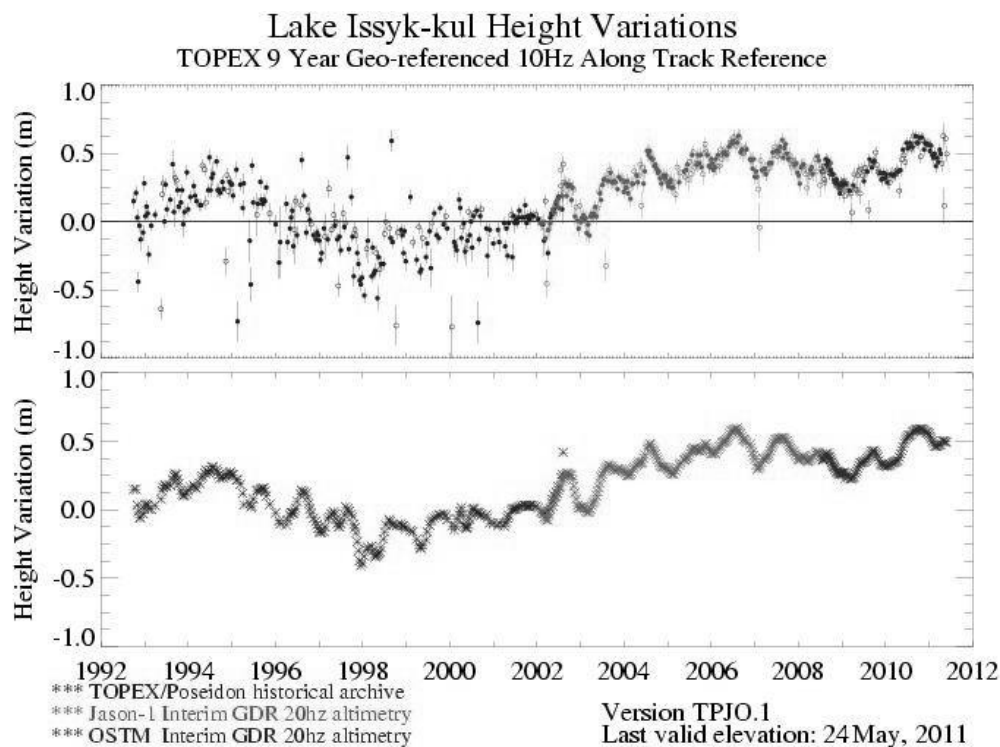
Озеро мономиктическое. Термоклин формируется в начале июня и существует до начала декабря, максимальный вертикальный температурный градиент составляет 2.7°C. В середине озера вода стратифицирована до глубины 5-10 м., тогда как у берегов тепловая неоднородность составляет 20-30 м (Savvaitova, Petr, 1999).

Зимой пресная вода замерзающих мелководных заливов отделяется от водных масс основной части озера термическим баром. В этот период в поверхностном слое могут наблюдаться кольцевые зоны воды с повышенной температурой. Они образуются на границе между холодной водой сублиторальной зоны и приподнятыми участками воды в центре озера (LBRI&ILECF, 1993).

### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

Годовой ход уровня воды оз. Иссык-Куль характеризуется растянутым весенне-летним половодьем. Рост уровня обычно начинается в апреле и связан со снеготаянием в горах, которое к августу сменяется таянием ледников. Из-за значительной площади ледников в бассейне доля ледникового питания очень высокая, так что максимум уровня обычно приходится на август-сентябрь. Высокий уровень удерживается до сентября – октября. В сухие годы, при значительном разборе воды на орошение, максимум уровня может смещаться на июнь-июль. Так, в засушливом 1948 г. рост уровня в период половодья составлял всего 5 см, в результате к концу года уровень снизился на 28 см. В многоводном 1956 г. рост уровня продолжался до сентября и составлял за половодье 42 см, в результате за год уровень повысился на 17 см (Romanovsky, 2002). С середины осени уровень быстро идет на спад и до начала весны продолжается осенне-зимняя межень. Наиболее низкие уровни приходятся на февраль - март. Годовая амплитуда колебаний уровня озера составляет 10-50 см.

В последние столетия водный баланс оз. Иссык-Куль отрицательный, и его расходная часть превышает приходную. Расчетом элементов водного баланса озера занимались Каплинский, Тимченко, 1977; Шнитников, 1979 и 1986; Кривошей, Гронская, 1985, Романовский, 1990 и 2002 и др. Шнитников (1979) производил расчеты с учетом наличия или отсутствия оттока по р. Чу. Согласно его расчетам приток в озеро составляет 2.99/4.08 км<sup>3</sup>/год (озеро при отсутствии стока/озеро со стоком) осадки на поверхность – 1.57/2.38 км<sup>3</sup>, испарение – 4.37/4.08 км<sup>3</sup>, забор воды на орошение – 0.62/2.38 км<sup>3</sup> (Шнитников, 1979). Наиболее полное исследование, на основе анализа результатов других ученых и собственных работ, провел В. Романовский



**Рис. 6.11.** Уровень воды оз. Иссык-Куль по данным со спутников TOPEX, Jason-1, OSTM. Источник: USDA

(1990). Согласно его данным приток в озеро составляет  $2.27 \text{ км}^3/\text{год}$ , осадки на его поверхность  $-1.34 \text{ км}^3$ , испарение  $-4.63 \text{ км}^3$ .

#### **Проблемы изменения уровня озера**

Для оз. Иссык-Куль характерны значительные изменения уровня его воды в многолетнем разрезе, вызванные климатическими колебаниями. Об их размахе свидетельствуют озёрные террасы высотой 8-10 м и подводные развалины поселений на глубине до 8 м. На протяжении последних двух столетий, начиная с первой четверти XIX в., наблюдается снижение уровня озера, оцениваемое как одна из важнейших проблем региона. Уже в 1905 г. Виноградский назвал оз. Иссык-Куль «исчезающим озером». По различным данным средняя интенсивность падения уровня за полтора столетия составляла 2 - 8 см/год (Шнитников, 1980; Кривошей, Гронская 1985). Только за период с 1870 г. по 1973 г. уровень озера упал на 9 метров (Шнитников, 1979). Раньше, при уровне озера на 10—11 м. выше современного, сток из озера осуществлялся по р. Чу. Последняя эпоха повышенной водности приходилась на вторую половину XVIII - первую половину XIX вв. Из-за постепенного пониже-

ния уровня воды береговая зона Иссу-Куля подвергалась продолжительным изменениям, мелководье высушилось, появились бары, острова и литоральные банки. Только за 1950-1980 гг. осушенная площадь составила около  $55 \text{ км}^2$ .

Причины изменения уровня оз. Иссык-Куль продолжают оставаться до конца не выясненными и являются предметом научных споров. Среди факторов, способствующих снижению уровня, называют: разбор стока на ирригационные нужды (антропогенный), снижение количества выпадающих осадков и рост испарения (климатический), отделение озера от бас. р. Чу (гидрографический), оседание бассейна и прогибания дна озера (тектонический), грунтовый отток за пределы котловины озера по трещинам и разломам земной коры (гидрогеологический). На многовековые колебания уровня озера накладываются краткосрочные изменения меньшей амплитуды. Так, с 1986 г. снижение уровня воды произошло (Romanovsky, 2002) и в 1990-е гг. – первой половине 2000-х гг. наблюдался его небольшой подъем, составивший только с 2000 по 2006 г. около 0.5 м (рис. 6.11). Однако в 2007 году было вновь зарегистрировано

небольшое понижение уровня, составившее 6 см, и такая тенденция сохранилась до 2010 г.

Наблюдавшееся в 1990-е – начале 2000-х гг. повышение уровня озера было связано, прежде всего, с климатическими факторами, с увеличением в этот период количества осадков на водосборе и повышением водности рек. Увеличение водности рек отмечалось с 1972 г., и составило в среднем 14%, однако к концу 2000-х гг. на реках с небольшой долей ледникового питания имело место уменьшение стока.

Как указывают Аламанов и др. (2006), совокупный анализ влияния климатического и антропогенного факторов на уровень оз. Иссык-Куль показывает, что их вклад в процесс колебания уровня очевиден. При этом, начиная с середины XX в. ведущее значение при формировании отрицательной составляющей водного баланса озера принадлежит безвозвратным потерям воды за счет орошаемого земледелия. Повышенный речной сток, связанный с дополнительным поступлением воды в речную сеть от атмосферных осадков и таяния ледников, чаще всего оказывается недостаточным для компенсации этих потерь и может способствовать лишь небольшому, непродолжительному подъему уровня.

В качестве кардинальных мер по стабилизации уровня озера в различные годы выдвигались, и в настоящее время продолжают выдвигаться проекты переброски стока рек из смежных речных бассейнов. Среди предлагаемых схем: переброска около 2 км<sup>3</sup> стока р. Сарыжаз (общий сток 4 км<sup>3</sup>), несущей свои воды в КНР; переброска 0.18 км<sup>3</sup> стока р. Каркыра, принадлежащей к Или-Балхашскому бассейну (проект М.Н. Большакова и Б.Г. Шпака, предложенный в 1960 г.); переброска 0.125 км<sup>3</sup> стока р. Арабелсуу (общий сток 0.3 км<sup>3</sup>) в восточную часть котловины по руслу реки Жууку. Однако, поскольку любые проекты, основанные на перебросках стока рек, являются высоко затратными, особенно в горной местности, ожидание того, что в ближайшей перспективе они могут начать реализовываться крайне маловероятно. Поэтому более рациональными и осуществимыми являются меры по сокращению безвозвратного водопотребления, прежде всего в сельском хозяйстве. Существуют большие резервы в снижении потерь воды за счет усовершенствования норм и режима полива. Большая экономия воды может быть достигнута путем повышения КПД оросительных систем, значе-

ния которых в котловине находятся на уровне 20–30% (Аламанов и др., 2006).

### **Основные характеристики качества вод**

Прозрачность озерной воды высокая, составляющая в центральной части водоема до 19 м, у впадения рек она резко снижается. Цвет воды темно-синий, у берегов — зеленоватый. Показатель кислотности среды, рН – 7.7-9.98. Соленость составляет до 5 промилле, среди ионов преобладают: Na и K>Mg>Ca, SO<sub>4</sub>>Cl>HCO<sub>3</sub>. В литоральной зоне химический состав воды существенно различается, у впадения крупных притоков, прежде всего р. Тюп и Джергалан, она более пресная. На расстоянии около 300 м от устьев соленость составляет 2.5-3.0 г/л, но уже на расстоянии 3 км она повышается в поверхностном слое до 3.8 г/л, а в глубинном - до 5.3 г/л. При снижении солености гидрокарбонатов становится больше, чем сульфатов (Karmanchuk 2002). Высокая соленость наблюдается в заливах, характеризующихся низким притоком, и в прибрежных акваториях, подвергающихся интенсивному ветровому перемешиванию (южное побережье). Пелагиальная зона характеризуется гомогенным составом химических элементов и одинаковой соленостью как по вертикали, так и по акватории.

По концентрации биогенных элементов и продуктивности оз. Иссык-Куль является низкопродуктивным олиготрофным водоемом. Концентрации биогенных элементов наиболее высоки на литорали, где они приносятся реками или поступают с коммунальными стоками. Содержание NO<sub>2</sub> составляет на литорали:– 2-10 мкг/л (наиболее высокие значения в заливе Рыбачьем - 25-80 мкг/л), NO<sub>3</sub> – 6-25 мкг/л, NH<sub>4</sub> – 0-5 мкг/л (наиболее высокие значения также в заливе Рыбачьем, 10-13 мкг/л). Содержание общего фосфора на значительной части акватории ниже пределов обнаружения, и лишь у побережья, близ ряда населенных пунктов оно возрастает до 20-30 мкг/л. (Karmanchuk 2002).

Благодаря интенсивному ветровому перемешиванию содержание растворенного в воде кислорода достаточно высокое и, по большей части водного столба, составляет - 9.2-10.1 мг/л, не опускаясь ниже 6.5-7.5 мг/л даже у дна. Для озера характерны свои специфические особенности аккумуляции кислорода ниже термоклина, связанные с фотосинтетической активностью фитопланктона в условиях высокой прозрачности озерных вод (ILEC, 1993).



### Основные биологические особенности

Благодаря высокой прозрачности воды высшая водная растительность покрывает значительную часть дна. Среди макрофитов преобладают воздушно-водные: тростник (*Phragmites australis*), рогоз (*Typha latifolia*), камыш (*Scirpus tabernaemontani*); погруженные: рдесты (*Potamogeton pectinatus*), уруть (*Myriophyllum spicatum*), наяда (*Najas marina*), произрастающие до глубин 1.5-2 м, а также харовые водоросли (*Charophyta*), распространенные до глубин 30-40 м. Харовые водоросли составляют до 96% от общей биомассы (Savvaitova, Petr, 1999). Наиболее продуктивная зона находится на глубине 15-20 м. Биомасса макрофитов достигает 60 кг/м<sup>2</sup>.

В оз. Иссык-Куль обнаружено около 300 видов фитопланктона. По видовому разнообразию преобладают сине-зеленые водоросли: *Meristopedia punctata*, *M. tenuissima*, *M. glauca*, *Gloeocapsa minor*, *Lyngbya contorta*, однако их общая масса не велика, активно распространены диатомовые: *Cyclotella caspia*; а также зеленые: *Oocystis submarina*, *O. issykkulica*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Sphaerocystis schroeteri*, *Binuclearia lauterbornii*, *Elakatothrix* sp.; динофлагелляты: *Peridinium cinctum*. Солнечный свет настолько глубоко проникает в толщу воды, что водоросли растут на глубине до 70 м. В сезонном развитии фитопланктона присутствуют два пика: май и октябрь (Кулумбаева, 1982). Средняя биомасса фитопланктона – 111.0 мкг/л, в Заливе Туяп - 207-398, в Заливе Рыбацкий - 5300 мкг/л. (ИЕС, 1993)

В озере обнаружено 170 видов зоопланктона (Кулумбаева, 1982). По видовому разнообразию преобладают коловратки: *Hexarthra fenica*, *Keratella quadrata* много ветвистоусых рачков: *Diaphanosoma brachyurum* и веслоногих ракообразных, среди которых наиболее многочисленно семейство циклопов и диаптомусов: *Arctodiaptomus salinus*, *Acanthocyclops viridis*, *Cyclops vicinus*. Диаптомус *A. salinus* распространен по всему озеру и составляет от 75 до 95% численности зоопланктона и до 99% его биомассы. Биомасса зоопланктона в открытой воде – 164 мкг/л, в заливах - 10-520 мкг/л (ИЕС, 1993). Продуктивность фито- и зоопланктона наиболее высокая в заливах, в зоне открытой воды они крайне низкие.

Зообентос озера представлен 224 видами (Savvaitova, Petr, 1999) и встречается преимущественно до глубин 40 м, в зоне распро-

странения харовых водорослей. Наиболее разнообразны представители группы протозоа из царства одноклеточных или колониальных эукариот, которых насчитывается 35 видов (Павлова, 1981; Иззатулаев, 1986). Также многообразны двукрылые насчитывающие 65 видов, в том числе: *Chironomus f. l. plumosus*, *C. thummi*, *Glyptotendipes barbipes*, *Stictochironomus pictulus*; ракообразные - 20 видов: *Gammarus bergi*, *G. ocellatus*, *Paramysis lacustris kowalewskyi*, *P. intermedia*; кольчатые черви – 9 видов; моллюски – 8 видов: *Lymnaea subdisjuncta*, *L. auricularia obliquata*, *Pseudocaspia issykkulensis*; водяные клещи – 5 видов; полужесткокрылые и жесткокрылые – 4 вида. Годовая продуктивность зообентоса составляет 8-10 г/м<sup>2</sup> (Savvaitova, Petr, 1999), на глубине более 7 м - 0.2-0.3 г/м<sup>2</sup>.

Состав ихтиофауны бассейна озера насчитывает 22 вида, из которых 12 - эндемики, относящиеся к семействам карповых, вьюнковых и лососевых и 10 – интродуцированных. К родным видам относятся: чебак (*Leuciscus schmidtii*), чебачок (*Leuciscus bergi*), голый осман (*Diptychus dybowskii*), маринка (*Schizothorax pseudoksaiensis issyk-kuli*), серый голец (*Nemacheilus dorsalis*), голец-губач (*Nemachilus strauchi*), голяян (*Phoxinus issykkulensis*). Давнее географическое обособление и изоляция озера (прекращение связи с рекой Чу) вызвали у рыб развитие ряда новых признаков, приведших к образованию специфических форм, свойственных только Иссык-Куль. В течение XX в. проводилась систематическая работа по обогащению озера наиболее ценными промысловыми видами рыбы. Среди интродуцированных видов - ишхан или севанская форель (*Salmo ischchan issykogegarkuni*), вселенная в 1970-х гг., лещ (*Abramis brama orientalis*), судак (*Stizostedion lucioperca*), зеркальный карп (*Cyprinus carpio*), белый амур (*Stenopharyngodon idella*), пелядь (*Coregonus peled*), байкальский омуль (*Coregonus autumnalis*).

Коммерческий лов рыбы в оз. Иссык-Куль начат с 1890 г. Изначально основными коммерческими видами являлись осман, сазан, маринка и чебак. К 1930-м годам из-за перелова и связанного с ним сокращения численности основным видом стал чебачок. В 1970-е гг. невысокие уловы на озере спровоцировали вселение новых видов, которые и стали основными для промысла (Savvaitova, Petr, 1999). Молодь активно разводится в инку-



баторах и потом выпускается в озеро, были введены специальные квоты как на разведение, так и на отлов.

В настоящее время годовые уловы на оз. Иссык-Куль составляют около 1200 тонн. В последние годы наблюдается сокращение численности рыбы, что с одной стороны связано с чрезмерным отловом, а с другой – с хищничеством вселенцев. Четыре эндемичных вида: чебак, чебачок, маринка и голый осман, резко сократились по численности и находятся под угрозой исчезновения. Значительный ущерб аборигенной фауне наносит радужная форель, на протяжении 40 лет выращиваемая в озере садковым методом (Savvaitova, Petr, 1999). В середине 2000-х гг. ежегодное производство форели составляло 33 тонны. Поскольку оз. Иссык-Куль отличается значительным волнением, сетки, сдерживающие рыбу, быстро приходят в негодность и прорываются, выпуская мальков в озеро. Если в 1970-е гг. попавшая в озеро в генетически модифицированном виде радужная форель не давала потомство, а только уничтожала всё вокруг, то в 2000-е гг. привезённая из Англии и отличающаяся высокой экологической приспособляемостью форель представляет значительно большую опасность для восстановления подорванных запасов аборигенных видов рыб. В связи с этим рациональность ее дальнейшего выращивания в последние годы подвергается сомнению. С декабря 2009 г. в Кыргызстане наложен запрет на разведение радужной форели в садковых хозяйствах, расположенных в акватории озера Иссык-Куль, вместо этого предлагается разводить ее в мелких прудовых хозяйствах вокруг озера. На сегодняшний день многие специалисты видят спасение рыбного населения озера в пополнении рыбных запасов за счет молоди, в том числе аборигенных видов, выращенной в инкубаторах.

Озеро характеризуется богатством орнитофауны, через него проходят пути миграции черношейной и красношейной поганки (*Podiceps nigricollis*, *P. auritus*), большой белой и серой цапли (*Egretta alba*, *Ardea cinerea*), а также редких уток: шилохвость (*Anas acuta*), чирок-трескунок (*Anas querquedula*), обыкновенный гоголь (*Bucephala clangula*), средний и большой крохаль (*Mergus serrator*, *M. Merganser*). В заливах и на западе озера ежегодно зимует 70—80 тыс. особей водоплавающих птиц, принадлежащих к 16 видам, среди которых лебеди-шипунуны (*Cygnus olor*), лебеди-

кликуны (*Cygnus cygnus*), красноносые нырки (*Netta rufina*), кряквы (*Anas platyrhynchos*), лысухи (*Fulica atra*), гоголи (*Bucephala clangula*), лутки (*Mergellus albellus*). Гнездятся серые и горные гуси (*Anser anser*, *A. indicus*), длинноносый крохаль (*Mergus serrator*).

В 1944 г. в оз. Иссык-Куль была выпущена ондатра (*Ondatra zibethicus*); она быстро акклиматизировалась и заселила Покровский залив, некоторые другие богатые растительностью мелководные заливы и устья рек.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Иссык-Куль составляет 22080 км<sup>2</sup>, здесь проживает около полумиллиона человек. Большинство населённых пунктов расположено на северном побережье и в восточной части котловины. Основное занятие населения — сельское хозяйство, включающее земледелие (зерновые и зерно-бобовые культуры, выращивание картофеля и др. овощей), скотоводство (тонкорунное овцеводство, мясомолочное скотоводство и племенное коневодство) и садоводство (абрикосы, груши, яблоки, персики). Определённое развитие в регионе имеет промышленность, прежде всего, горнодобывающая, сконцентрированная на добыче золота, каменного и бурого угля, олова, меди, свинца, полиметаллов и др. Обрабатывающая промышленность представлена такими отраслями как легкая, пищевая, а также производство стройматериалов, машиностроение, судостроение, электротехническая и топливная промышленность. На озере развито рыболовство. Кроме того, еще со времен Советского Союза, котловина оз. Иссык-Куль является общепризнанным международным центром туризма, курортного отдыха и лечения, приносящим на сегодняшний день экономике Кыргызстана значительный доход. Большую часть туристов составляют жители Кыргызстана и соседних стран, самые популярные курорты - города Чолпон-Ата и Каракол, посёлки Бостери, Сары-Ой, Чон-Сары-Ой, Тамчи, а также ущелье Джеты-Огуз. Основу курортных ресурсов зоны составляют минеральные и термальные воды, а также лечебные грязи. В 2010 г. Иссык-Кульская область лидировала в стране по социально-экономическим показателям, рост производства промышленной продукции был здесь самым высоким в республике.

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Активное антропогенное развитие в бассейне озера Иссык-Куль, происходящее с середины XX в., вызывает ряд негативных изменений, сказывающихся на снижении притока в озеро. В силу аридности климата большая часть сельскохозяйственных земель орошается. Только с 1930 по 1980 г. площади орошаемых земель на водосборе увеличились в 3 раза, с 50 до 154 тыс. га. (Savvaitova, Petr, 1999), затем, в связи с экономическими причинами, их дальнейшее расширение было приостановлено. На уровень 2000 г. общие посевные площади в регионе составляли 187 тыс. га. Водозабор в это же время увеличивался с 9% от общего притока в 1966 г. до 34% в 1982 и до 43% - в 1998 г. (Karmanchuk, 2002). В ближайшее время предполагается расширение орошаемых земель в Иссык-Кульской котловине более чем на 60 тыс. га (Аламанов и др., 2006), что приведет к еще большим заборам воды из питающих озеро рек.

Наряду со снижением притока происходят негативные качественные изменения озерной воды. Несмотря на наличие на большинстве предприятий очистительных систем, в силу своей слабой эффективности они не справляются с очисткой стоков. В результате в водоем попадают плохо обработанные промышленные и коммунальные стоки, содержащие нефтепродукты, тяжелые металлы и детергенты, кроме того, с сельскохозяйственными стоками проникают пестициды и биогенные вещества. Улучшение очистных сооружений затруднено в связи с финансовыми трудностями в регионе.

К счастью, на сегодняшний день способность озера к самоочищению позволяет справляться с поступающим загрязнением, с растворением попадающих в него вредных веществ до безопасного для человека уровня. И экологическая ситуация в Иссык-Кульской котловине не вызывает в целом серьезных опасений. Однако, в разгар туристического сезона, когда возрастает количество отдыхающих, а вместе с тем и уровень загрязнения прибрежной части, озерное растворение не так эффективно. В результате этого, согласно информации, публикуемой в прессе, в пик сезона близ Чолпон-Аты периодически фиксируется превышения допустимой концентрации вредных веществ. По данным Karmanchuk (2002) химический анализ проб воды показал, что в последние несколько

десятилетий большинство химических параметров остаются неизменными. Выявлено наличие загрязнения в прибрежной зоне, прежде всего нефтепродуктами и тяжелыми металлами. Наиболее загрязнены Рыбацкий залив, Восточный залив у г. Чолпон-Ата, побережье вблизи ряда поселков (Каджи Сай), по восточному побережью - заливы при впадении р. Тюп и Джергалан. Пелагиальная зона остается практически чистой. В последние десятилетия наблюдалось снижение нефтяного загрязнения в сравнении с 1980-ми годами, что связано с предпринятыми мерами и более серьезным отношением к нефтяным сбросам в последнее время. Наличие тяжелых металлов выявлено лишь в литоральной зоне. Более поздние исследования, проведенные летом 2007 г. показали наличие желтых пятен на поверхности озера, образованных в результате отработки горюче-смазочных материалов, а также появление быстро разрастающихся сине-зеленых водорослей

К другим проблемам оз. Иссык-Куль относятся эрозия почв на водосборе, вызываемая как развитием сельского хозяйства (распахивание склонов, неправильная система полива, выбивание почвы за счет чрезмерного выпаса), так и добывающей промышленности. Среди негативных факторов называется также бесконтрольное уничтожение болотно-кустарникового пояса на побережье в целях расширения пляжной зоны. Древесно-кустарниковый пояс с болотистыми участками является естественным фильтром озера, очищающим все стоки, поступающие в него с поверхности Иссык-Кульской котловины, что позволяет значительно улучшить ситуацию при плохой работе очистных сооружений.

Бурное развитие туризма, предпринимательской деятельности и реализация хозяйственных проектов в условиях почти полной природной замкнутости Иссык-Кульской котловины усиливают антропогенный прессинг и, в случае ослабления экологического контроля, могут привести к чрезвычайным ситуациям.

### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

В 1958 г. близ озера Иссык-Куль организован Иссык-Кульский заповедник, впоследствии ставший биосферным. Оз. Иссык-Куль входит в состав Рамсарских охраняемых водно-болотных угодий, еще в 1974 году согласно Рамсарской конвенции, подписанной тогда Совет-



Рис. 6.12. Государство Урарту, VIII в. до н.э. Источник: История изучения Урарту.

ским Союзом, озеро включено в группу водоемов, имеющих международное значение. В 2001 году биосферная территория «Иссык-Куль» вошла в Планетарную сеть биосферных резерватов Программы Организации объединенных наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), тем самым Иссык-Кульской области придан статус международной особо охраняемой природной территории мирового значения.

В 2007 г. был принят Государственный Закон "Об охране озера Иссык-Куль". В рамках закона предполагается разработать нормативы предельно допустимых вредных воздействий, а также перечень вредных веществ - особо опасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы Иссык-Куля. Специально уполномоченный государственный орган призван вести мониторинг состояния высокогорной гляциальной зоны, питающей реки, впадающие в Иссык-Куль, а также хозяйственного использования главных источников, несущих воды в озеро (рек Джергалан, Тюп, Каракол, Джуука, Тонг, Джетыюгуз, Чонаксуу, Чонкызылсуу, Актерек, Барскоон и др.); повышения и снижения уровня воды в озере, прогнозировать последствия. В первой половине 2010 г. был разработан проект Закона Кыргызской Республики «О внесении дополнений и изменений в Закон Кыргызской Республики «Об устойчивом развитии эколого-экономической системы «Иссык-Куль». Предлагаемые дополнения и изменения направлены

на усиление правового режима устойчивого развития эколого-экономической системы «Иссык-Куль», усиления особого статуса озера Иссык-Куль как национального достояния республики. В рамках этих дополнений, в частности, запрещена деятельность здравниц Иссык-Куля без очистных сооружений.

### ОЗЕРА АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

Для Армянского нагорья характерно обилие крупных озёр, расположенных в обширных тектонических впадинах и чаще всего представляющих собой центры внутреннего стока. Наиболее крупными из них и являются озера Урмия, Ван и Севан, из которых только оз. Севан – сточное (по р. Раздан). С древних времен озера Урмия, Ван и Севан известны как три Великих Озера Великой Армении. Их водное зеркало находится на высотах от 1250 (оз. Урмия) до 1900 м (оз. Севан), в регионе, отличающемся суровым резко континентальным климатом с холодными, морозными зимами, жарким, сухим летом и сравнительно небольшим количеством годовых осадков при значительном испарении.

Первые следы пребывания человека на Армянском нагорье относятся еще к временам палеолита. С неолитических времён живущие здесь племена уже занимались выплавкой металлов (Геворкян, 1980), и существует версия, что именно здесь были изобретены технология плавки железа (Мецамор, Чатал-



Хююк и др.) и коневодство. Первые государства появились в регионе уже к началу первого тысячелетия до н.э. Согласно историческим свидетельствам с XI по VI вв. до н.э. значительную часть территории Армянского нагорья занимало государство Урарту, соседствующее в VII в. с государством Манна (рис. 6.12). В силу своего удобного положения на стыке Средиземноморья и Передней Азии Армянское нагорье с самых древних времен являлось территорией, привлекающей интерес всех крупных держав, расположенных по округе. Поэтому его история на фоне многочисленных войн изобилует быстрым возникновением и часто таким же быстрым падением здесь различных царств, их подчинением соседям, затем вновь возрождением и очередным завоеванием. Наибольшего величия регион добился в период Великой Армении (начало II в. до н.э.— 387 г н.э.) или «страны трёх морей». Именно в это время древней истории «три моря» или озера Ван, Урмия и Севан становятся хорошо известными европейским цивилизациям. В 387 г. Великая Армения подверглась разделу и с тех пор озера практически уже никогда все вместе не входили в состав единого государства.

На сегодняшний день оз. Урмия расположено на территории Иранского Азербайджана, оз. Ван на территории Турции, а оз. Севан – Армении. Современная история региона включает не только взаимоотношения между проживающими здесь народами, но и антропогенное воздействие, в значительной степени изменяющее природную среду. На протяжении XX в., особенно его второй половины озера региона претерпевали ряд изменений. Наиболее существенные изменения коснулись оз. Севан, уровень которого на протяжении 70 лет искусственно понижался. В публикуемых ниже трех отдельных статьях о крупнейших озерах Армянского нагорья озеру Севан, в связи с этим, уделено особое внимание.

#### 6.4. ОЗЕРО УРМИЯ

Озеро Урмия - самое крупное озеро Ирана (рис. 6.13), расположенное на северо-западе страны в Иранской котловине, между провинциями Восточный и Западный Азербайджан. Его координаты: 37°00'-38°15'с.ш., 45°00'-46°01'в.д., высота уреза воды 1250 м над уровнем моря (после снижения уровня воды в последнее десятилетие - 1247 м). В 1926 году оз. Урмия

было переименовано в оз. Резайе, в честь шаха Резы Пахлави; прежнее название было возвращено в 1970-х гг.

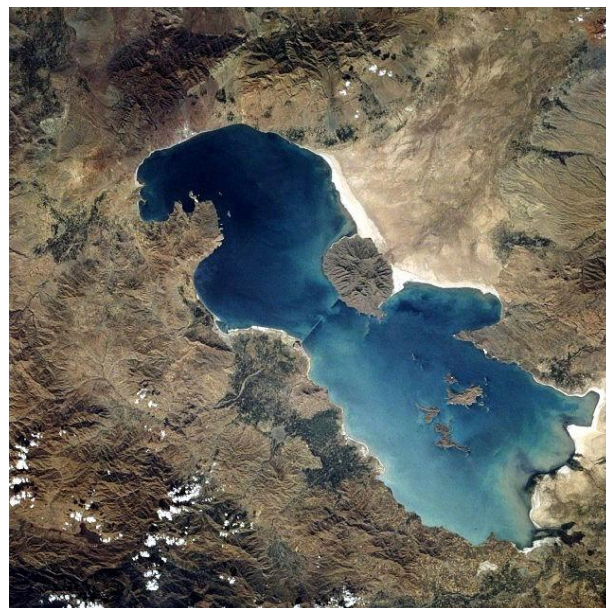


Рис. 6.13. Озеро Урмия. Фото NASA.

Согласно оценкам, выполненным во второй половине XX в., площадь водного зеркала оз. Урмия составляла 5960 км<sup>2</sup>, объем содержащейся воды – 19 км<sup>3</sup>, длина озера - 140 км, ширина - от 16 до 63 км (Kelts and Shahrabi, 1997), средняя глубина оценивалась в 5 м, максимальная – в 16 м. Считается, что на протяжении XX в. на озере наблюдалось постепенное сокращение площади водного зеркала. В работах 1990-х г. площадь озера указывалась равной 5200 км<sup>2</sup> (Ghaheri, 1999). Значительное снижение акватории отмечалось с 1995 по 2005 гг. и было связано с низкими осадками в этот период. Уровень воды за десятилетие упал на 3.5 метра, в результате площадь водного зеркала сократилась к середине 2000-х гг. до 4610 км<sup>2</sup> (Alipour, 2006).

Озеро Урмия - бессточное. В него впадает 21 постоянная река, в том числе 13 основных, наиболее крупными из которых являются рр. Аджи-чай, Заррине-руд, Симине-руд, Шахри-чай, Махабад-руд и Назлы-чай. Кроме того, в озеро впадает 39 временных водотоков, таких как Софе-чай и Мардок-чай. Южная часть озера отличается мелководностью, северная более глубокая. На озере 102 острова, важнейшие из которых о-ва Ислами, Кабудан, Эспир, Ашк и Арезу.

Озерная котловина имеет тектоническое проис-

хождение, она расположена в грабене, между поднятиями Аравийского полуострова, Урмии, Турции и Иранской платформы. Озеро окружает высокие горы (до 3800 м), сложенные преимущественно магматическими и осадочными породами. На долю горных ландшафтов приходится около 65% от площади водосбора, на долю равнинных – 24% и около 11% - на озера. Возраст слагающих водосбор пород - от докембрия до четвертичного периода. Наиболее древние породы представлены кислыми туфами и диоритами, а также породами, имеющими вулканическое происхождение, среди метаморфических пород - амфиболиты, гнейсы, лейциты и базаниты. Палеозой представлен доломитами, сланцами и песчаниками, преобразованными в латериты и распространенными в западной части бассейна, мезозой – известняками и доломитами, распространенными в восточной части, меловой период – конгломератами, песчаниками и известняками. Породы, образовавшиеся за счет вулканической деятельности, датируются палеоценом и плейстоценом.

Образование озерной котловины происходило около 400000 - 800000 лет назад. Однако возраст современного озера оценивается от 8000 до 40000 лет. Озерное дно и острова сложены преимущественно меловыми известняками, перекрытыми осадочными отложениями, имеющими возраст 30 000 – 40 000 лет. Согласно геоморфологическим данным максимальный уровень озера на протяжении его истории не превышал 5 м над современным уровнем, так как озерные отложения были найдены только в этом диапазоне высот. Наиболее высокие уровни наблюдались в промежутке между двумя последними оледенениями и в период голоцена, наиболее низкие - на период Валдайского оледенения.

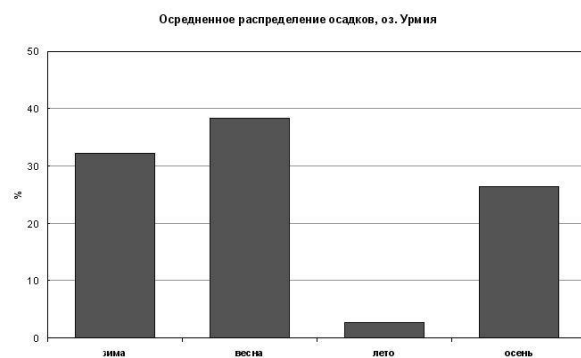
### **Роль озера в жизни окружающих народов**

Озеро Урмия играет важнейшую роль в жизни людей, проживающих по его берегам. Питающие его воды активно используются для коммунального, сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения. Благодаря наличию в озере ценного минерального сырья, ведется его активная промышленная разработка. Обитающая в озере артемия является источником питания домашнего скота и богатейшего птичьего населения, живущего на озере. В летний период озеро представляет собой прекрасное место для отдыха и плавания, повышенное содержание солей ежегодно привлекает к его берегам

больных ревматизмом, кожными заболеваниями и нервными расстройствами.

### **Климат. Характеристики термического режима**

Климат рассматриваемого региона сухой субтропический, резко континентальный, характеризующийся холодными зимами и умеренным летом. Наблюдается значительный градиент годовых температур, от  $-20^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+40^{\circ}\text{C}$  летом. Согласно (Inegrated...) среднегодовые осадки, рассчитанные за период 1967-2001 гг., составляли в бассейне 384 мм, изменяясь от 250 в пониженных областях до 1000 мм на западных склонах гор. Более 70% осадков приходится на зимне-весенний период, причем около 1/3 от годовых осадков выпадает в виде снега. Осредненное распределение осадков в течение года приводится на рис. 6.14. За период наблюдений, с 1950 по 2010 гг. наблюдалось несколько полных циклов влагообеспеченности, продолжительность которых составляла около 10 лет. Повышенные осадки приходились на 1957, 1969, 1976, 1982, 1987 и 1994 гг, пониженные – на 1963, 1971, 1984, 1991, крайне низким количеством осадков характеризовалось также все десятилетие 1995-2003 гг. с минимумом в 2002 г.



**Рис 6.14.** Осредненное распределение осадков, %, в течение года (по данным Inegrated...)

Температура воды оз. Урмия варьирует в течение года от 0 до  $30^{\circ}\text{C}$ . В верхнем 1.5-метровом слое температура воды всегда выше, чем на глубине, различия особенно заметны в весенний и летний сезон. В связи с разницей температур поверхностная вода озера всегда легче, что предотвращает быстрое вертикальное перемешивание.

### Характеристики водного режима и водного баланса

Общий речной приток в оз. Урмия составляет в среднем около 5 км<sup>3</sup> воды в год, при этом чуть менее половины всего притока, 2.25 км<sup>3</sup>/год, приносит р. Заррине-руд. Большая часть притока приходится на весенние месяцы, летом многие водотоки полностью пересыхают. Непосредственно на поверхность озера за год выпадает от 120 до 600 мм осадков при среднем значении около 380 мм. Испарение с поверхности водоема оценивается в 1435 мм/год (Alipour, 2006). При годовых осадках 350-400 мм и выше и притоке более 1050 мм, водный баланс озера бездефицитен. В течение 1995-2005 гг величина испарения значительно превосходила суммарную величину осадков плюс стока, совместно составлявших лишь около 1150 мм, при этом осредненный за этот период приток составлял лишь 4.35 км<sup>3</sup> воды. Таким образом, наблюдалось существенное сокращение площади водоема, в среднем на 32 см/год. В табл. 6.1 приведены водно-балансовые характеристики, рассчитанные Alipour (2006) за период 1967-2002 гг.

**Таблица 6.1.** Показатели водного баланса оз. Урмия по данным Alipour (2006), 1967-2002 гг. (км<sup>3</sup>).

ОСАДКИ	СТОК	ПОДЗЕМНЫЙ ПРИТОК	ИСПАРЕНИЕ	ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ
1.145	4.636	0.042	5.873	-0.05

### Основные характеристики качества вод

Вода оз. Урмия характеризуется повышенной прозрачностью при интенсивной цветности (цвет воды ярко-синий). Показатель кислотности среды, pH – 7.3-8.6. Соленость воды большую часть XX в. составляла 150—230 промилле, с начала 2000-х гг. она повышалась до значений выше 250 промилле, периодически доходя до 300 гр/л. Среди катионов преобладают Na>Mg>Ca>K, Li, среди анионов – Cl>SO<sub>4</sub>>HCO<sub>3</sub>. Концентрация ионов натрия и хлора примерно в 4 раза превышает таковую в морской воде (Eimanifar et al., 2007). Характерно, также, повышенное содержание в озерной воде фтора и брома. Высокая соленость озерной воды сочетается с ее повышенной плотностью, в результате, даже в холодные зимы на озере не происходит льдообразования.

По всему озеру распределение солей достаточно однородное, свидетельствующее о хорошей смешиваемости водной массы. Наблюдается несколько более высокие концентрации натрия в южной мелководной части озера.

Содержание солей в воде оз. Урмия близко к насыщению. Наименьшие значения солености озерной воды наблюдаются весной при максимуме притока, наиболее высокие значения – в жаркий сухой сезон при максимуме испарения. На мелководье, преимущественно в конце осени и зимой, при низких температурах происходит образование мирабилита. При низких осадках и высоком испарении может происходить кристаллизация солей. Такое явление наблюдалось в 2002 г., соль кристаллизовалась тонким слоем (до 1 см) на озерном дне на глубинах до 2 м и на поверхности береговых галечников.

Общая масса растворенных солей, накопившихся в озере на сегодняшний день, оценивается в 4800 млн. тонн. Ежегодный принос солей с речным стоком оценивается в 2.2 млн. тонн, из которых 54% поступает со стоком р. Аджи-чай (Горькая река), обеспечивающей лишь 10% водного притока (Integrated...). Высокой соленостью отличается также ряд сезонных водотоков, протекающих по соляным куполам, существующим у северного побережья. В южную часть озера впадают лишь пресноводные реки. Проведенное бурение озерного дна не выявило наличия мощных соляных пластов (Alipour, 2006), так что причиной высокой солености воды является значительный уровень испаряемости и отсутствие оттока, из-за чего все поступающие со стоком соли накапливаются в водоеме.

### Основные биологические особенности

Побережье оз. Урмия болотистое, отличающееся наличием небольших пресноводных озер. К озеру, преимущественно в его южной части, подступают заросли камыша, наиболее обширные в дельтах питающих озеро рек. Фитопланктон отличается низким видовым разнообразием и представлен несколькими видами галофильных водорослей. Здесь многочисленна зеленая водоросль *Dunaliella* sp., составляющая до 95% биомассы и *Enteromorpha intestinalis*, особенно активно распространяющаяся при снижении солености воды, наблюдающемся в годы высокой водности. Также в озере распространены зеленые водоросли: *Ankistrodesmus* sp., *Monostroma* sp., *Pan-*



*dorina* sp.; сине-зеленые: *Anabaena* sp., *Anacystis* sp., *Chroococcus* sp., *Lyngbya* sp., *Oscillatoria* sp. и *Synechococcus* sp.; диатомовые: *Amphora* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Cyclotella* sp., *Symbella* sp., *Synedra* sp., *Pinnularia* sp., *Diatoma* sp., *Amphiprora* sp., *Surirella* sp., *Cumatopleura* sp., *Gyrosigma* sp. (Ryahi et al., 1994, Mohebbi et al., 2006) Водоросли *Dunaliella* sp. и *Tetraselmis* sp. являются основным рационом местной артемии. По производству фитопланктона, составляющему 0.5-0.8 мкг/л, оз. Урмия может быть охарактеризовано как олиготрофное (Eimanifar et al., 2007).

В зоопланктоне оз. Урмия выявлены низшие ракообразные. Так, оз. Урмия, как полагают, является одной из самых крупных естественных сред обитания артемии - *Artemia Urmiana Salina*, вида ракообразных из класса жаброногих, эндемика оз. Урмия. Из-за высокой солености в озере нет рыбы, отсутствие которой позволяет артемии распространиться до плотности более 4000 экз./л (Inegrated...). Предельные значения солености, выше которых кисты артемии начинают погибать – 250 гр/л. При превышении этих значений, периодически наблюдающихся в озере на протяжении сухого сезона, плотность артемии резко сокращается. Так из-за значительной засухи последнего десятилетия ее популяция к 2002 г. начала исчезать, сохранившись лишь вблизи устьев рек.

Озеро характеризуется богатством орнитофауны, здесь насчитывается 212 видов птиц, среди которых чайки, утки, колпицы, ибисы, аисты, шилоноски, ходулочники и др. Его острова широко используется перелётными птицами как промежуточный пункт на путях миграции. Среди встречающихся на озере редких видов - кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*), красный фламинго (*Phoenicopterus ruber*), белоголовый сип (*Gyps fulvus*), савка (*Oxyura leucocephala*), могильник и большой подорник (*Aquila heliaca*, *A. clanga*), мраморный чирок (*Marmaronetta angustirostris*), дрофа (*Otis tarda*), малый лебедь (*Cygnus bewickii*), балобан (*Falco cherrug*), орлан-белохвост и орлан-долгохвост (*Haliaeetus albicilla*, *H. leucoryphus*). И зимой, благодаря тому, что озеро не замерзает даже при холодной погоде, сюда слетается огромное количество птиц (не менее 13 видов), основным источником продовольствия которых является артемия. В зимнее время на озере обитает около 1% всех птиц Передней Азии. По

берегам озера также обнаружен 41 вид рептилий, 7 видов земноводных и 41 – млекопитающих.

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Урмия составляет 51876 км<sup>2</sup> (Inegrated...). Здесь проживает около 4.5 млн. чел. Основное занятие жителей – сельское хозяйство, обеспечивающее доход большей части местного населения, животноводство, пчеловодство, а также добывающая промышленность, в том числе промышленная добыча соли на озере. В долинах вокруг озера распространено орошаемое земледелие, ориентированное, прежде всего, на выращивание овощей и фруктов, а также хлопка, табака, орехов, и зерновых. Большая часть водоносных слоев вокруг озера содержит пресную воду и является источником водных ресурсов для сельского хозяйства. В регионе эксплуатируется около 2 км<sup>3</sup> воды (Inegrated...), причем более половины забирается из подземных горизонтов. 96% воды, употребляемой на нужды сельского хозяйства, водоснабжения и промышленности, изымается из колодцев и кяризов. В годы низкой водности имеющихся водных ресурсов начинает не хватать для сельскохозяйственного водоснабжения.

Благодаря наличию ценного минерального сырья на озере активно ведется его промышленная разработка. Прежде всего, происходит добыча солей (NaCO<sub>3</sub>), которых ежегодно добывается около 450000 тонн, из них около 400000 в г. Мераге (Alipour, 2006), в юго-западной оконечности озера. Значительный интерес представляют также такие ценные элементы как K, Li, Br, Mg, однако их успешная эксплуатация требует развития новых технологий (Ghaheri, 1999).

На озере развито судоходство. Для соединения западного и восточного берегов в 1970 г. был разработан проект возведения громадного моста между городами Урмией и Тебризом. После Иранской Революции 1979 г. Строительные работы были приостановлены, и вновь возобновились лишь в 2000-х гг. Конструкция моста предполагала насыпь дамбы, длиной около 18 км, и конструкцию собственно моста, длиной около полутора километров, позволяющего осуществлять водообмен между северной и южной частями водоема. Строительство было завершено в ноябре 2008 г. К сожалению, несмотря на антикоррозийную обработку, высокая

соленость воды негативно сказывается на металлических конструкциях, что снижает сроки эксплуатации только возведенного сооружения.

### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

В последние два десятилетия в связи с активным антропогенным развитием наблюдалось значительное давление на экосистему оз. Урмия и окружающие его болотные угодья. Антропогенное давление на озеро еще больше усилилось в результате значительной засухи 1995-2003 гг., когда существенно снизился уровень его воды, а берега отступили местами на несколько километров. Из-за засухи соленые озерные воды проникали в связанные с озером водоносные горизонты. Особенно резко это проявлялось в восточной и западной части водоема, где и в годы средней водности соленые воды могут простираться на значительное расстояние от озера. Соленые воды обнаруживались в колодцах, расположенных на сельскохозяйственных землях, приводя к огромным потерям урожая. Кроме того, рост солености воды нанес колоссальный ущерб популяции артемии, являющейся основой питания прилетающих на озеро птиц. Основным урон пришелся на маловодный 2002 г., когда соленость озерной воды достигала 300 гр/л. Истощение популяции артемии снизило привлекательность водоема для птичьего населения. При достижении уровня насыщения соль начинала кристаллизоваться и тонкой коркой покрывать дно и прибрежные галечники, что повлекло за собой массовую гибель прилетевшей птицы. Соль попадала в желудки птиц, их лапки покрывались шариками соли, препятствующими движению (Alipour, 2006).

Активный водозабор, составляющий до 2 км<sup>3</sup> воды/год и расходуемый, прежде всего, на сельскохозяйственные нужды, способствовал еще большему снижению уровня воды озера, так как даже в годы нормальной водности приходная часть водного баланса озера Урмия не всегда может уравновесить расходную часть. Из-за водозабора в северной и восточной частях водосбора, характеризующихся наибольшей хозяйственной освоенностью и высокой плотностью населения, наблюдалось снижение уровня грунтовых вод, составившее в ряде районов до 16 м (Zarghami M. 2009). Кроме того, водоносным горизонтам здесь угрожали неочищенные промышленные и коммунальные стоки.

Наряду с засухой негативное влияние на озерную экосистему вызвало строительство моста, соединившего западный и восточный берега озера. Его влияние более детально изучается в последние годы. Основной пресный приток поступает в южную часть оз. Урмия, строительство моста привело к нарушению циркуляции и снижению водообмена между бассейнами, что способствовало увеличению солености северной части озера. До начала строительных работ обитающая в озере креветка была равномерно распределена по всему водоему, в конце 2000-х гг., после завершения строительства, совпавшего с ростом солености озера, основным местообитанием креветки стал южный бассейн, тогда как в северном бассейне ее численность теперь весьма невелика (Eimanifar et al., 2007).

С целью обеспечения рационального использования водных ресурсов и поддержания устойчивого экономического развития в бассейне оз. Урмия на реках, питающих озеро, строятся водохранилища. К середине 2000-х годов существовало уже 6 водохранилищ с суммарным полезным объемом 846 млн. м<sup>3</sup> воды. На ближайшие годы запланировано строительство еще 21 водохранилища с полезным объемом от 0.25 до 20 млн. м<sup>3</sup> воды. Объем зарегулированного стока составляет на сегодняшний день 1.241 км<sup>3</sup>/год, и планируется увеличить его до 3.169 км<sup>3</sup>. Введение в эксплуатацию водохранилищ приводит к изменениям внутригодового притока в озеро, кроме того, в условиях сухого и жаркого климата – к дополнительным потерям воды на испарение. Однако, пока это единственный выход для поддержания местной экономики, испытывающей в последние годы регулярную нехватку воды.

Наблюдающееся в последние десятилетия постепенное усыхание оз. Урмия является катастрофой, которая может привести к еще худшим последствиям. Отступление береговой линии приводит к оголению покрытого солью озерного дна, такая земля не может быть использована под сельское хозяйство, однако может стать источником соли, распространяемой по региону при сильных ветрах. Соляная пыль может явиться причиной серьезных заболеваний дыхательных путей в регионе, как это происходило при пересыхании Арала. С целью спасения оз. Урмия в последние годы был разработан ряд проектов, предлагающих четыре альтернативных маршрута переброски стока из смежных бассейнов и позволяющих

увеличить приходную часть водного баланса озера (Zarghami M. 2009).

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

С 1975 г. оз. Урмия входит в состав Национального Парка – одного из самых важных в Иране. Благодаря высокой биологической вариативности озеро признано ЮНЕСКО «хранилищем биосферы». Часть болотистых земель вокруг озера включено в состав Рамсарских охраняемых территорий, обеспечивающих среду обитания редким видам птицы.

Рациональное использование озера и сохранение его уникальной экосистемы представляет важнейшую задачу, особенно в свете наблюдавшейся в регионе с конца XX в. засухи и катастрофического роста водозабора, приведших к сокращению площади водоема и существенному падению уровня грунтовых вод, и повлекших за собой колоссальные потери для сельского хозяйства региона. Основной целью, в этой связи, является восполнение притока в озеро. Важной задачей является также поиск возможностей улучшения биологического потенциала водоема, резко снизившегося в последнее десятилетие, для ее решения в 2000 г. Иранская Организация Исследования Рыбной ловли (IFRO) организовала Исследовательский центр *Артемии* на оз. Урмия.

#### **6.5. ОЗЕРО ВАН**

Озеро Ван – самое большое озеро Турции, расположенное на Армянском нагорье (рис. 6.15). Его координаты: 38°16' - 39°00'сш.; 42°17' - 43°40'в.д., урез воды находится на высоте 1648 м над уровнем моря. Площадь водного зеркала составляет 3522 км<sup>2</sup>, объем заключенной воды – 576 км<sup>3</sup> (Reimer et al., 2009). Средняя глубина 161 м при максимальной - 451 м (Hammer U.T., 1986), длина озера - 119 км. Озеро имеет неправильную треугольную форму, узким перешейком оно делится на небольшую мелководную северо-восточную часть и глубоководную юго-западную. Берега преимущественно обрывистые. На озере много не-больших островов и четыре более крупных, Гадир, Чарпанак, Ахтамар и Атрек. Озеро бессточное, основной приток приносят реки Бендимахи, Зейлан-Дереси, Карашу и Мичингер.

Оз. Ван расположено в западной части тектонической котловины, окруженной Восточным Тавром с юга, Курдскими горами с востока и

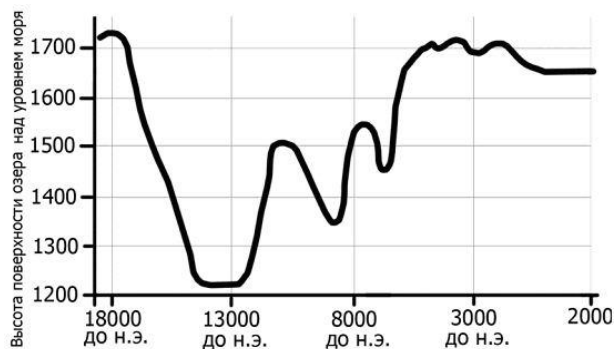
хребтом Аладаглар с северо-востока. В среднюю плейстоценовую эпоху, около 200 тысяч лет назад, извержение вулкана Немрут-Даг образовало поток лавы, заблокировавший сток вод из Ванской котловины в Мушскую, что и привело к образованию озера. Таким образом, оз. Ван занимает самую глубокую часть котловины, окруженной горами. Сохраняющий свою активность стратовулкан Немрут-Даг (2935 м) возвышается вблизи его северо-западного берега, а высочайший потухший стратовулкан Сипан (4434 м) доминирует на северном побережье.



**Рис. 6.15.** Озеро Ван. Фото NASA.

Террасы, расположенные по берегам озера свидетельствуют, что в более ранние эпохи его уровень поднимался значительно выше, чем сегодня. Так около 18000 лет назад, в конце ледниковой эпохи, он был выше приблизительно на 72 м (Degens et al., 1984). Кроме того, результаты глубоководного бурения, проведенного в 1990 г., показали, что около 9500 лет назад озеро пересыхало, распадаясь на небольшие соляные озерца, когда его уровень был на 300 м ниже сегодняшнего (Landmann et al., 1996). Следующее значительное повышение уровня наблюдалось около 6500 лет назад (рис. 6.16). Большинство исследователей связывают пересыхание озера с климатическими изменениями, хотя его точные причины, возможность повторения и связь климатических изменений в районе оз. Ван с соседними регионами всё ещё остаются предметом дискуссий. Уровень близкий к современному

наблюдается на озере около 3000 лет. Еще в 1946 г. Матвеев высказывал предположение, что через определенное время эрозия Восточного Тавра притоками реки Ботан-Чайи (приток р. Тигр) может образовать новый сток вод озера в бассейн Тигра, и озеро Ван уменьшится или перестанет существовать.



**Рис. 6.16.** Изменение уровня воды в озере Ван по данным глубоководного бурения 1990 года по данным Landmann et al., 1996.

В течение своей длительной истории глубокое, бессточное оз. Ван накопило огромный слой осадочных отложений, составляющий в ряде районов до 400 м. Такие мощные отложения привлекают к себе интерес геологов, вулканологов и климатологов, начавших их активное изучение в 1990-х годах.

#### **Роль озера в жизни окружающих народов**

Озеро Ван играет важную роль в жизни людей, проживающих на его берегах. Питающие его реки являются основным источником воды местного населения. Озеро оказывает смягчающее воздействие на климат в регионе. Благодаря более мягкому климату и искусственному орошению в прибрежных областях произрастают и хорошо плодоносят оливковые деревья, яблони, персики, гранаты и другие садовые культуры.

#### **Климат. Характеристики термического режима**

Оз. Ван расположено на Армянском нагорье, отличающемся суровым резко континентальным климатом с холодными, морозными зимами, жарким, сухим летом, и амплитудой годовых температур до 75°C. Средние температуры воздуха составляют от -16 до -12°C в январе и от +22 до +25 С в июле. В особенно холодные зимние дни температура в центре нагорья достигает -45 С. Само озеро смягчает

климат близлежащих окрестностей, поэтому в городе Ван, расположенном на его берегу, средние температуры января составляют всего -3.5 С, а июля +22.5 С. Годовое количество осадков в бассейне колеблется от 400 до 700 мм.

Озеро димиктическое, с хорошо выраженной летней и зимней стратификацией. Температура воды в озере летом достигает у поверхности 20°C, тогда как на глубинах более 50 м в течение всего года остается около 3°C. Из-за высокой солености озеро не замерзает за исключением небольших мелководных участков у северного берега.

#### **Характеристики водного режима и водного баланса**

Оз. Ван имеет преимущественно снеговое питание. Основной сток приносят, выпадающие с севера реки Бендимахи и Зейлан-Дереси и выпадающие с востока - Карашу и Мичингер. Самая крупная из четырех рек, р. Зейлан-Дереси (Зейлан), берёт свое начало в горах Аладаглар, совместно с р. Бендимахи они обеспечивают около 40% притока в озеро, составляющего 2.5 км<sup>3</sup>/год. Осадки на поверхность водоема составляют 1.7 км<sup>3</sup> /год. Поскольку озеро бессточное единственной составляющей расходной части водного баланса является испарение, оцениваемое в 4.2 км<sup>3</sup> воды в год (Altunkaynak et al., 2003).

Годовая амплитуда уровня воды озера составляет всего около 0.5 м. Значительный рост уровня начинается в апреле и совпадает с началом снеготаяния в горах, максимум притока приходится на июль. За этот период озеро получает основную часть своего питания, около 80% (Altunkaynak et al., 2003). К августу приток снижается и продолжает оставаться незначительным до января-февраля. Уровень воды падает, наиболее низкие его значения наблюдаются в зимние месяцы.

Оз. Ван испытывает также малоисследованные колебания уровня значительной амплитуды. Его последний рост, превысивший средние значения примерно на 3 м, наблюдался в 1990-е гг., причем только за 1990-е гг. уровень увеличился на 2.6 м (рис. 6.17), а за период 1960-2000 г. рост уровня составил около 4 м. После 2000 г. был кратковременный период стабилизации и снижения уровня, вновь прерванный в середине 2000-х гг. Kadioglu et al. (1997) отмечает, что изменения уровня воды

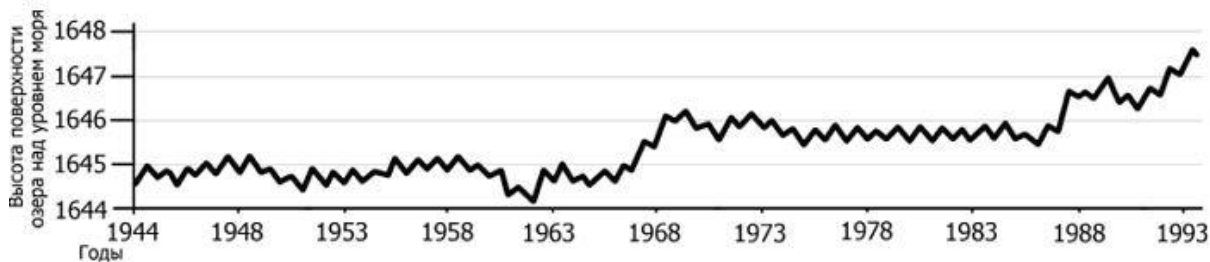


Рис. 6.17. График изменений уровня воды в озере Ван в период с 1944 по 1994 годы. по данным Kadioglu et al., 1997.

зависят, прежде всего, от естественных вариаций гидрологического цикла и от многолетних климатических изменений, затрагивающих весь водосбор озера. Повышения уровня сопровождаются затоплением прибрежных земель, нанося ущерб землепользователям. Высоко щелочные воды озера делают их на некоторое время непригодными для использования, пока уровень щелочности почв не придет в норму (Dikmen, 2003).

#### Основные характеристики качества вод

Оз. Ван имеет среднюю соленость 21.7 промилле (Reimer et al., 2009). Соленость изменяется как по площади, так и с глубиной. Вблизи впадения рек вода почти пресная, тогда как в глубоких котловинах она становится гиперсоленой, в южной части озера присутствуют впадины с соленостью до 67 промилле (Hammer, 1986). Вода высоко щелочная, pH составляет 9.5-9.8 (10) (Reimer et al., 2009). Преобладают ионы натрия и карбонат-ионы,  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ . Среди солей доминируют карбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), составляющий 18-19% от всех солей в озере (Dikmen, 2003), сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и хлорид натрия ( $\text{NaCl}$ ), что придает воде моющие свойства. Характерно значительное содержание карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) (Thiel et al., 1997). Оз. Ван является самым крупным содовым озером в мире и, возможно, по своему химическому составу является моделью океана в его молодом возрасте (Kemp et al., 2007). Реки Зейлан-Дереси и р. Бендимахи обеспечивают поступление в водоем около половины от общего привноса растворенных в воде хлоридов и сульфатов (Reimer et al., 2009).

Содержание растворенного в воде кислорода составляет у поверхности около 8 мг/л, с глубиной концентрация падает, однако даже на глубине 75 м содержание кислорода составляет

около 5 мг/л, а на глубине 400 м – около 1.5 мг/л. Концентрация фосфора и кремния у поверхности минимальна и значительно возрастает с глубиной. При этом даже ее значения у поверхности свидетельствуют, что оба элемента не полностью используются при фотосинтезе. Биогенным элементом, лимитирующим первичное производство в оз. Ван, является азот (Reimer et al., 2009). Содержание хлорофилла-а оценивается в 0.1-0.9 мкг/л (Tugrul et al., 1984).

#### Основные биологические особенности

В связи со значительными изменениями солености по площади озера, различные его части населяют разные организмы от пресноводных в устьях рек до галлофитов. В озере обнаружено 103 вида фитопланктона, включая диатомовые, бактериофиты, цианофиты, хлорофиты, флагаеллы и феофиты. В озере отмечено большое количество микроорганизмов, в том числе бактерий. Здесь обитает 5 видов экстремофилов - грамположительных палочковидных бактерий рода бацилл, характерных для щелочных сред (Berber et al., 2005), прокариот *Caulobacter crescentus*, грамотрицательная анаэробная бактерия *Shewanella oneidensis*, цианобактерия *Synechococcus leopoliensis* и аэробная протеобактерия *Ramlibacter tataouinensis* (Benzerara et al., 2006). Первичная продуктивность оценивается в 100 гС/м<sup>2</sup> год, максимальное первичное производство наблюдается на глубине 10-50 м (Reimer et al., 2009).

В озере насчитывается 36 видов зоопланктона, представляющих коловраток: *Hexarthra fennica polydonta*, *H. f. Polydonta*, *H. fennica*, *Filinia maior*, *Colurella adriatica*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Trichocerca taurocephala*; ветвистых рачков и веслоногих ракообразных: *Arctodiaptomus spinosus* и др (Danulat, Selçuk 1992).

В озере водится также единственный вид рыбы – эндемик жемчужная кефаль (*Chalcalburnus tarichi*) из семейства карповых, родственная европейской уклейке. Ее основным питанием является зоопланктон, а также фитопланктон (Dikmen, 2003). В мае-июне данный вид мигрирует из озера в менее соленые воды устьев рек для размножения, а затем опять возвращается. В летние месяцы рыба обитает на глубине около 20 м, а в зимние – 60 м. Предельно допустимый порог солености для обитания жемчужной кефали составляет 23 промилле.

Поскольку рыбная ловля является важным источником пропитания и дохода местных жителей, ее годовые уловы достигают до 43000 тонн. Однако большая часть этих уловов незаконна, так как годовая квота, выделяемая правительством для рыбаков оз. Ван составляет всего 8500 тонн (Dikmen, 2003).

#### ***Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне***

Площадь водосбора озера составляет около 15000 км<sup>2</sup>. Здесь проживает около 900 тыс. чел., что составляет около 15% жителей Южной Анатолии. Из-за высотного положения и труднодоступности район оз. Ван один из наиболее бедных в Турции. Данный район плохо связан с остальной страной транспортной сетью, что существенно тормозит его развитие. Основное занятие населения – земледелие и скотоводство. На озере также развито рыболовство, в рыбном промысле задействовано 2500 семей, годовой доход которых составляет около 3000 \$US. Промышленность практически не развита за исключением солеварения.

Для поднятия благосостояния региона правительство Турции в последние годы прилагает значительные усилия. На ближайшую перспективу предполагается строительство в Южной Анатолии 22 дамб и 19 электростанций, с суммарной выработкой 27 млрд Квт/час, что должно полностью обеспечить регион электроэнергией и будет способствовать расширению ирригационных территорий на 1.7 млн. гектар (Dikmen, 2003). В результате предполагается обеспечить в Южной Анатолии около 3.3 млн. рабочих мест и удвоить сельскохозяйственное производство. Кроме того, делается все возможное для привлечения сюда туристов.

#### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

Регион озера Ван слабо заселен. Основной уг-

розой для водоема является активное развитие сельского хозяйства на водосборе, сопровождающееся ростом орошаемых площадей, увеличением изъятия воды из рек, питающих озеро, а также развитием эрозионных процессов. Еще одной опасностью для озера являются плохо очищенные стоки, количество которых растет по мере развития региона.

Из-за растущего загрязнения, а также чрезмерного вылова в озере сокращается популяция эндемичной жемчужной кефали. В последнее время в печати появляется все больше опасений, что если не начать строить очистные сооружения и сохранить сегодняшние темпы вылова, ее популяция может затухнуть в течение ближайших нескольких десятилетий. Для поддержания населения кефали правительство Турции определило жесткие квоты на ее вылов, однако, к сожалению, браконьерский лов пока сохраняется.

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

В XX веке вплоть до восьмидесятых годов исследовательские работы на озере не проводились, что было в основном связано с политической нестабильностью в регионе. Сложившаяся ситуация привела к тому, что многие географические работы и справочники XX в. (включая Большую советскую энциклопедию последнего издания) допускали серьезные ошибки в оценке средней и максимальной глубин озера, а, как следствие, грубые ошибки в оценках его объема. Только целенаправленные исследования девятидесятых годов XX века несколькими экспедициями (в основном немецких ученых) пролили свет на вопросы глубин озера, а также дали важные сведения о составе воды озера. В 1990 году на озере работала международная исследовательская экспедиция, проводившая глубоководное бурение и исследующая минеральные отложения со дна озера.

### **6.6. ОЗЕРО СЕВАН**

Озеро Севан (рис. 6.18) расположено на Кавказе, на северо-востоке Армении. Его координаты: 40°09'-40°38'с.ш. и 44°57'- 45°39'в.д., урез воды находится на высоте около 1900 м над уровнем моря. Это самое крупное озеро на Кавказе и одно из крупнейших пресноводных высокогорных озер мира. До искусственного снижения уровня воды площадь озера



составляла 1416 км<sup>2</sup>, максимальная глубина - 84 м средняя - 47 м, объем содержащейся в озере воды был 58.5 км<sup>3</sup>, а площадь водосборного бассейна - 3475 км<sup>2</sup>. Длина озера была 75 км, средняя ширина - 19 км, максимальная - 37 км. С начала снижения уровня площадь озера на протяжении 70 лет постепенно сокращалась, более быстрыми темпами до 1981 г., затем наступил период так называемой условной стабилизации уровня, продолжавшийся до конца 2001 г., за это время уровень сначала поднялся на 0.9 м (1981-1990гг.), а затем спустился на 1.68 м (1991-2001гг.). В 2002 г. при уровне воды около 1897.5 м площадь озера составляла 1240 км<sup>2</sup>, объем воды - 32.92 км<sup>3</sup>. С 2002 г. наблюдается постепенный рост уровня озера. К концу 2010 года уровень достиг отметки 1899.71 метров н.у.м.

Оз. Севан со всех сторон окаймлено горными хребтами: Севанским и Арегуни-Памбакским с северо-востока, Гегамским с запада и Варденисским с юга. Границей его бассейна на западе и юге является водораздел бассейна р. Аракс, а в остальной части - бассейна р. Кура. Окружающие озеро ландшафты отличаются красотой и разнообразием - горные степи переходят в альпийские луга и горные леса. А горные вершины до начала лета находятся под снегом.



Рис. 6.18. Озеро Севан. Фото NASA.

В оз. Севан впадают 28 рек, причем все небольшие, длина самой крупной р. Масрик не достигает и 50 км. Вытекает из озера р. Раздан, приток Аракса. Естественным повышением - Шоржинским подводным валом-порогом и двумя мысами, вдающимися в озеро - Артанишским (с востока) и Норатусским (с запада), озеро делится на две части: Малый Севан и Большой Севан, площади которых до искусственного понижения уровня составляли 384 и 1032 км<sup>2</sup>, соответственно. Малый Севан отличается значительной глубиной, изрезанными берегами, его максимальная глубина составляла 84 м. Большой Севан характеризовался ровным дном, мало изрезанными берегами и максимальной глубиной 51 м. До начала снижения уровня воды, в озере был остров площадью 1 кв. км и высотой 80 м, который в последнее время стал полуостровом.

Озерная котловина Севана имеет тектоническое и запрудное происхождение. По истории и палеографии бассейна Севана есть много работ: Абих, 1902, Марков, 1911, Ляйстер, 1908, 1914, Ляйстер, Чурсин, 1924; Гинзберг, 1929, Кузнецов, 1929, Габриелян, 1946; Асланян, 1947; Варданянц, 1948, Леонтьев, 1949, Паффенгольц, 1950; Милановский, 1952; Саркисян (1962) и др. Однако единого мнения о времени образования и начале развития впадин Малого и Большого Севана пока нет. Одной из наиболее известных является гипотеза Саркисяна (1962). Горный массив, ограничивающий бассейн оз. Севан Севанским, Арегуниским, Варденисским и Гегамским хребтами образовался еще в триасе (Леонтьев, 1949). Формирование Севанской впадины было связано с интенсивными тектоническими движениями, происходившими на территории Армении в конце плиоцена, начале постплиоцена (Милановский, 1952). В среднем постплиоцене Севанская впадина (будущее дно озера Севан) уже была покрыта сетью рек и мелких пресноводных озер. В верхнечетвертичное время в результате новых тектонических поднятий происходило формирование Баязетского поперечного вала, от мыса Норадуз до полуострова Арданиш, который и стал причиной, а также первым этапом образования и наполнения Палео-Большого Севана за счет рек, протекающих по этой части Севанской впадины. После его наполнения, в конце верхнечетвертичного времени, начинается второй этап формирования озера. Переливающиеся через Баязетский вал в сторону будущего Палео-Малого Севана,

воды разрушают вал в его средней части; в дальнейшем происходит углубление русла и образование реки Палео-Раздан, вытекающей из Палео-Большого Севана в сторону западной Армении. Третий этап формирования происходил в конце верхнечетвертичного времени, когда в 25-35 км от баязетского вала, вследствие излияния лав из горной вершины Богудаг было перекрыто русло Палео-Раздана, и возникла естественная плотина, создавшая условия для образования Палео-Малого Севана. В период таяния ледников произошло окончательное соединение Палео Малого и Большого Севана, а прорыв Богудагской плотины способствовал образованию современного русла реки Раздан.

Таким образом, тектонические движения и излияния лав явились причиной образования Севанской впадины, а окончательное формирование современного бассейна и самого современного оз. Севан произошло в четвертичное время (Асланян, 1947).

#### ***Климат. Характеристики термического режима***

Бассейна оз. Севан характеризуется значительным разнообразием климатических условий в его различных частях. Наряду с резко континентальным сухим климатом Араратской равнины на небольшом от нее расстоянии, в высокогорных областях Армянского нагорья, можно встретить районы, климат которых аналогичен климату нагорных тундр. Своеобразное взаиморасположение горных хребтов, различия в экспозиции их склонов, наличие глубоких межгорных впадин и хорошо защищенных горных долин являются причиной резко выраженных климатических контрастов даже в пределах одних и тех же высотных зон и в районах, весьма близко расположенных друг от друга (Оганесян, 1994). Однако если характеризовать природно-климатические условия бассейна в целом, то они типичны для высокогорья: достаточно суровая зима и прохладное лето. Среднегодовая температура воздуха колеблется в бассейне от 4° до 6°C, самым холодным месяцем является январь со среднемесячной температурой от -8° до -4°, самым теплым - август, со среднемесячными температурами 14° и 17°. Переход средних суточных температур воздуха через 0° происходит весной во второй декаде апреля, а осенью - в первой декаде ноября. Продолжительность зимы варьирует, безморозные дни

начинаются в мае и кончаются в октябре.

Среднегодовое количество осадков, выпадающих в бассейне озера, составляет 340-720 мм (Babayan et al., 2003), из них 17% приходится на зимний период, 37% на весну, 26% на лето и 20% на осень. Абсолютная влажность воздуха характеризуется ее наименьшими значениями в зимний период и наибольшими - в летний. Регион оз. Севан относится к наиболее ветреным районам Армении. Рельеф бассейна и большие амплитуды высот обуславливают значительные термические градиенты и способствуют развитию горнодолинных ветров на побережье. Средняя годовая скорость ветра в бассейне составляет 1.5-5.0 м/сек, наибольшие скорости приходятся на зимние месяцы.

В естественном состоянии среднемесячная температура воды оз. Севан в поверхностном слое не превышала 18.7°C. Летом был хорошо выражен температурный скачок на глубине 20-35 м, ниже которого температура падала до 4.1°C. Спуск уровня озера привёл к тому, что среднегодовая температура воды в озере повысилась почти на 2 градуса (Гаспарян, 2006), кроме того, произошла перестройка характера ее распределения по глубине. В настоящее время осенняя гомотермия наступает на месяц раньше при температуре на 3-4°C выше по сравнению с допусковым периодом. Кроме того, произошло повышение осенней температуры придонных слоёв озера. В допусковой период температура воды в гиполимнионе редко превышала 8 °C, а с 1965 г. стала выше 12°C. Изменился и ледовый режим озера. С конца января озеро теперь покрывается сплошным ледовым покровом мощностью от 28 см и более, тогда как до спуска воды оно замерзало в среднем раз в 15-20 лет.

#### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

В естественных условиях приходная часть водного баланса оз. Севан состояла в основном из речного притока, оцениваемого в 0.77 км<sup>3</sup>, и осадков на его поверхность - 0.55 км<sup>3</sup>. Расходная часть преимущественно тратилась на испарение, 1.21 км<sup>3</sup> и лишь 0.11 км<sup>3</sup> приходилась на поверхностный и подземный отток (0.05 и 0.06, соответственно) (Чилингарян, Мнацаканян, 2008). Соразмерность величины испарения с поверхностью с суммарным притоком воды являлась следствием крайне малого соотношения площади водосбора к зеркалу озера (2.5). Такая

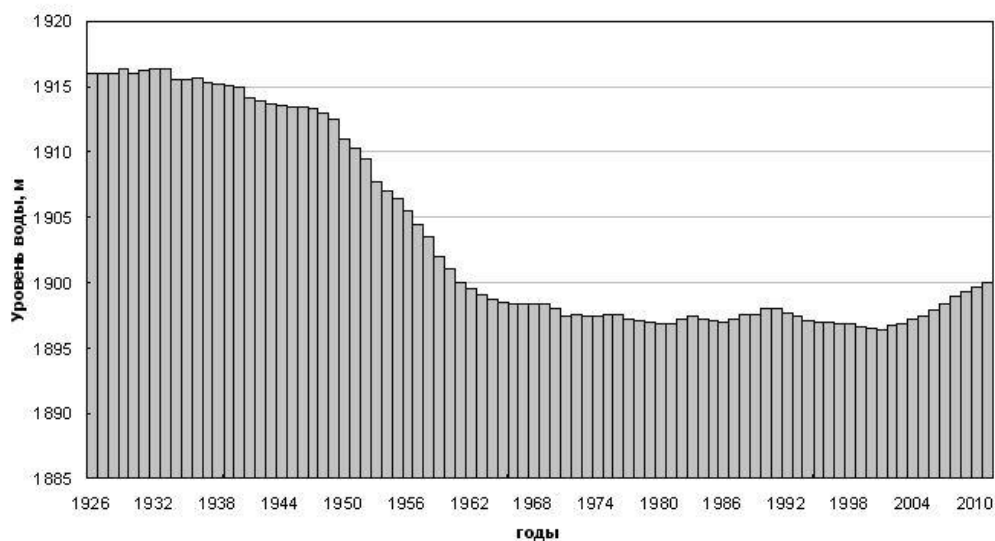
**Табл. 6.2.** Водный баланс оз. Севан по данным Чилингарян, Мнацаканян (2008) в период 1981-2007 гг.

Элементы водного баланса	Средний	1981	многоводный год (1988)	год миним, естеств. стока (1999)	год миним, отметки уровня (2001)	2007
<b>Приход км<sup>3</sup></b>	1.574	1.532	2.084	1.435	1.276	1.819
Речной приток	0.789	0.774	1.125	0.576	0.582	0.804
Осадки на водное зеркало	0.503	0.541	0.602	0.454	0.42	0.743
Подземный приток	0.091	0.053	0.093	0.094	0.094	0.094
Переброска из р. Арпа	0.191	0.164	0.264	0.311	0.18	0.178
<b>Расход км<sup>3</sup></b>	1.432	1.536	1.151	1.492	1.314	1.262
Испарение	1.128	1.114	1.024	1.282	1.142	1.093
Подземный сток	0.014	0.006	0.014	0.014	0.014	0.014
Попуски из озера	0.39	0.416	0.113	0.196	0.158	0.155
<b>Отметка уровня, м</b>						
в начале года	1897.09	1897.09	1897.10	1896.63	1896.46	1898.25
в конце года	1898.79	1897.10	1897.83	1896.51	1896.32	1898.79
<b>Площадь зеркала км<sup>2</sup>:</b>						
в начале года	1244.38	1244.38	1244.50	1239.71	1237.89	1255.96
в конце года	1261.46	1244.42	1251.83	1238.55	1236.20	1261.46
<b>Объем воды, км<sup>3</sup></b>						
в начале года	33.38	33.88	33.89	33.30	33.09	35.33
в конце года	36.00	33.88	34.80	33.15	32.92	36.00

структура водного баланса послужила основой для возникновения идеи снижения уровня воды и увеличения доли активной отдачи озера за счёт уменьшения непродуктивных потерь на

испарение. В результате реализации этой идеи был создан Севано-Разданский ирригационно-энергетический комплекс, приведший к значи-

**Уровень воды оз. Севан, 1926-2011 гг.**



**Рис. 6.19.** Изменение уровня воды оз. Севан по данным Чилингарян, Мнацаканян (2008).

тельному снижению уровня воды в Севане и перестройке его водного баланса. Сработка уровня за период 1936-77 гг. составила 18.5 м, что уменьшило объём водной массы на 43.2 %, а средние глубины – на 35.1 % (Данелян, 1996). Несмотря на то, что после завершения строительства Арпинского тоннеля уровень озера удалось стабилизировать на отметке около 1998 м, в последующие годы, вплоть до начала 2000-х гг, уровень воды еще продолжал периодически снижаться, хоть и значительно меньшими темпами (рис. 6.19). Водный баланс озера в этот период претерпевал дальнейшие изменения (табл. 6.2). Элемент подземного стока в расходной части значительно уменьшился, что непосредственно связано с положением уровня озера. В связи с использованием и искусственным пополнением водных ресурсов озера за счет перебросок стока в приходной части его водного баланса добавился новый элемент, тогда как в расходной части отток заменился попусками из озера (Чилингарян, Мнацаканян, 2008)

### *История снижения уровня*

Оз. Севан — самый большой водоем Армении, являющийся единственным гарантированным крупным источником пресной воды. В связи с этим с давних времён ставился вопрос об эффективности эксплуатации его водных ресурсов, и о возможности их использования для орошения Араратской долины. В начале XX в., в связи с появившимися к этому времени новыми техническими возможностями, планы по использованию озерной воды приобретают более четкие очертания (Ляйстер, 1914). Было разработано несколько проектов, в том числе проект Стюарта, предлагающего выведение воды озера через туннель на север для орошения земель южной части бассейна р. Куры, и проект Манасерьяна, где доказывалась целесообразность использования севанских вод для орошения земель Араратской равнины и выработки электроэнергии по течению реки Раздан. В техническом обосновании к проекту Серьяна было подсчитано, что из всего объёма речного притока около 95 % воды расходуется на испарение с поверхности озера. Из этого факта был сделан вывод, что значительная часть водных ресурсов просто бесцельно «пропадает», в то время как она могла бы быть более рационально использована. В этой связи, предлагалось уменьшить глубину озера на 45 м, используя осво-

бодившиеся водные ресурсы для орошения Араратской равнины и выработки электроэнергии.

Осуществление указанных проектов началось в 1927 г., когда Совет Труда и Оборона СССР обратился в АН СССР с просьбой о всестороннем исследовании оз. Севан и выявлении потенциальной возможности использования его вод для ирригационно-энергетических целей (Тер-Аствацурян, 1927, Левинсон-Лессинг 1929). Уже к 1931 г. появляется первая схема понижения уровня оз. Севан, согласно которой уровень озера за 50 лет должен был опуститься на 55 м, а его площадь сократиться до 299 км<sup>2</sup>. С точки зрения разработчиков это позволило бы существенно уменьшить затраты на неэффективное испарение и использовать высвободившуюся воду для народнохозяйственных целей, осушенные же земли предполагалось использовать для посадки деревьев: орешника, дуба и т.д. В 1933 г. проект получил одобрение в правительстве, и были начаты работы по углублению русла р. Раздан и созданию искусственных путей стока, представлявших собой тоннельные сооружения на глубине 40 м. Первый этап основного строительства каскада был завершен в 1938 году, когда началась активная эксплуатация Севан-Разданского ирригационно-энергетического комплекса, послужившая на тот период мощным толчком для развития экономики Армянской ССР. С началом Великой Отечественной войны все технические работы по созданию Разданского каскада были приостановлены и завершились лишь к 1949 году. С постройкой Разданского каскада ГЭС уровень воды озера в среднем ежегодно с 1949 по 1962 г. понижался на 1 м. В течение двадцатипятилетнего периода было использовано 38 миллиардов кубометров воды (Данелян, 1996), что уменьшило объём озера на 1/3, с 58.5 до 39.3 млрд. м<sup>3</sup>. С сокращением площади озера открылись прибрежные части дна, остров Севан на северо-западе озера сомкнулся с берегом, превратившись в полуостров.

К концу 1950-х гг. вскрылся ряд факторов, свидетельствующих о несовершенстве первоначального плана по снижению уровня озера. Освободившиеся земли оказались неплодородными, и их освоение не приносило прибыли. Построенные на р. Раздан гидроэлектростанции более не могли удовлетворить нуждам народного хозяйства Армении, было принято решение о развитии в регионе теплоэнер-

гетики, а затем атомной энергетики, в результате мощности Севан-Разданского каскада оказывались не востребованными. Кроме того, в условиях увеличивающегося потребления водных ресурсов оз. Севан оставалось единственным резервным источником пресной воды в республике, тогда как, согласно проведенным расчетам, другие источники к концу XX века могли быть исчерпаны. В тоже время Академией наук Армянской ССР в 1947-1961 гг. были выполнены новые теоретические, экспериментальные и натурные исследования озера (АН АрмССР...1961-62). В результате было принято решение о пересмотре проекта по снижению уровня озера. В 1961 г. был опубликован доклад АН Армянской ССР о необходимости прекращения спуска уровня, который к этому периоду успел опуститься на 13.7 м.

Поскольку водами только впадающих в оз. Севан рек восстановить его прежний запас воды и его уровень было невозможно, было принято решение о постоянном дополнительном сбросе в озеро с юга вод из бассейна р. Арпы по тоннелю длиной 49 км, который необходимо было построить под Вардениским хребтом. Было подсчитано, что в этом варианте максимальный спуск уровня воды составит 18 м. Строительство тоннеля было завершено к 1981 г., после чего была начата переброска в озеро Арпинской воды из водохранилища Кечут. В результате реализации проекта снижение уровня воды озера было временно приостановлено на отметке 1898 м. При этом площадь Малого Севана составляла 328 км<sup>2</sup>, а Большого - 916 км<sup>2</sup>. Поскольку для повышения уровня озера требовалось значительно больше воды, было решено построить ещё один двадцатикилометровый тоннель, подводный к оз. Севан воды р. Воротан. Однако начатое строительство было приостановлено в 1988 г. в связи с экономической блокадой со стороны Азербайджана.

В начале 1990-х гг. в Армении разразился энергетический кризис, вызванный остановкой в стране атомной станции, для выхода из кризиса пришлось воспользоваться энергоресурсами оз. Севан. Поддержание жизни людей обошлось еще в 6.1 миллиардов куб. м воды или в три метра уровня озера, который снизился до 1896.8 м. Экосистема озера Севан снова подверглась опасности. Начиная с 1998 г. вода оз. Севан более не используется на энергетические цели. В зимний период 1998-1999 гг. удалось накопить значительное количество ресурсов для Севано-Разданского каскада, что позволило более не

использовать озерную воду для нужд энергосистемы. В 2003 г. было завершено строительство Воротанского тоннеля, однако начало его эксплуатации было решено отодвинуть. Общая мощность гидроэлектростанций Севано-Разданского каскада составляет 550 мВт, однако он работает исключительно в ирригационный период, общая мощность Воротанского каскада - 404 мВт и на его долю приходится производство более 1 млрд. кВт. ч. электроэнергии в год. Согласно расчетам, начало эксплуатации Воротанского тоннеля должно привести к сокращению водных ресурсов, используемых для производства электроэнергии, так как 160 млн. куб м воды будет направляться в оз. Севан, это может вызвать снижение объема производства энергии примерно до 500 млн. кВт.ч. Несмотря на это, стратегическая значимость сохранения экологии озера Севан, по мнению правительства Армении, важнее возможных энергетических потерь.

К началу 2000-х гг. уровень воды оз. Севан стабилизировался на уровне 20 м ниже исходного, и, благодаря введению политики рационального водопользования, направленной на восстановление экологического баланса оз. Севан, начал постепенно повышаться. С 2002 г. наблюдается рост уровня озера, составляющий от 25 до 45 см в год. Было принято решение сначала поднять уровень на 3 м, после чего провести дополнительные исследования. В соответствии с планом, к 2031 году уровень озера должен вырасти до 1903.5 метра.

#### *Основные характеристики качества вод*

Оз. Севан является пресноводным водоемом, реакция воды щелочная, рН составляет 8.8-9.9. В составе катионов наблюдается доминирование магния над кальцием. В естественном состоянии воды оз. Севан отличались высокой прозрачностью (13-14 м), и в течение всего года были богаты кислородом. Для озера были характерны низкая окисляемость (около 2 мг/л), круглогодичное отсутствие соединений азота, полное отсутствие соединений железа, аномальное содержание соединений фосфора.

С падением уровня озера произошло повышение общей минерализации воды с 555 до 700 мг/л (Оганесян, 2006). Кроме того, снижение уровня привело к падению концентрации кислорода, прежде всего, в придонных слоях. Концентрация снизилась с 8.4 мг/л на уровень 1959 г. до 5.76 мг/л в 1980-х гг., что было обусловлено развитием гипolimни-



ального кислородного дефицита, продолжающегося в Большом Севане около двух месяцев в году. К 2000-гг. на озере стали периодически образовываться бескислородные зоны, кислородное голодание, сопровождалось выделениями метана и сероводорода. Кроме того, со спуском воды уменьшилась ее прозрачность (до 3-4 м), щелочность, повысилось содержания железа и азота. Концентрации минерального и общего азота возросли в 30 раз (с 0.01 до 0.32 г/м<sup>3</sup>), что сопровождалось ростом интенсивности освоения биогенного вещества водорослями и способствовало их активному развитию (Нац. доклад, 2002).

В последние десятилетия, особенно в 1990-е гг. показатели общего качества воды значительно ухудшились и из-за попадания в озеро неочищенных сточных вод. Увеличились концентрации сульфат-иона, в 3-6 раз возросла величина БПК<sub>5</sub>, в 2 раза увеличилось содержание ионов магния, нарушилось соотношение ионов Са и Mg (Оганесян, 2006). Надежды на улучшения качества воды связываются с начавшимся с 2002 г. повышением уровня и принятием решением о строительстве кругового коллектора.

#### **Основные биологические особенности**

Изначально фитопланктон озера Севан был небогатым, он состоял преимущественно из представителей диатомовых водорослей (*Asterionella*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*), зеленых (*Botryococcus*, *Pandorina*, *Ankistrodesmus*, *Gloeococcus*, *Dletiosphaerium*, *Oocystis*) и в существенно меньшей степени сине-зеленых (*Aphanothece*, *Gloeocapsa*) (Слободчиков, Стройкина, 1953). В зоопланктоне массовое развитие имели коловратки: *Synchaeta pectinata*, *Filinia longiseta*, *Pedalia mira*, *Keratella quadrata*, ветвистоусые рачки: *Daphnia longispina sevanica eulimnetica*, веслоногие ракообразные: *Acanthodiptomus denticornis*, *Arctodiptomus bacillifer*, *A. spinocus fadeevi*, *Cyclops strenuus*, *Megacyclops gigas* (Мешкова 1941, 1945). Бентосная фауна состояла преимущественно из представителей подкласса малощетинковых червей и пиявок, отряда бокоплавов, личинок комаров-звонцов (*Chironomidae*), и, в меньшей степени, представителей класса двустворчатых моллюсков, брюхоногих, отряда поденок (*Ephemeroptera*), и ручейников (*Trichoptera*). По своим продукционно-биологическим особенностям в естественном состоянии озеро приближалось к озерам олиго-

трофного типа.

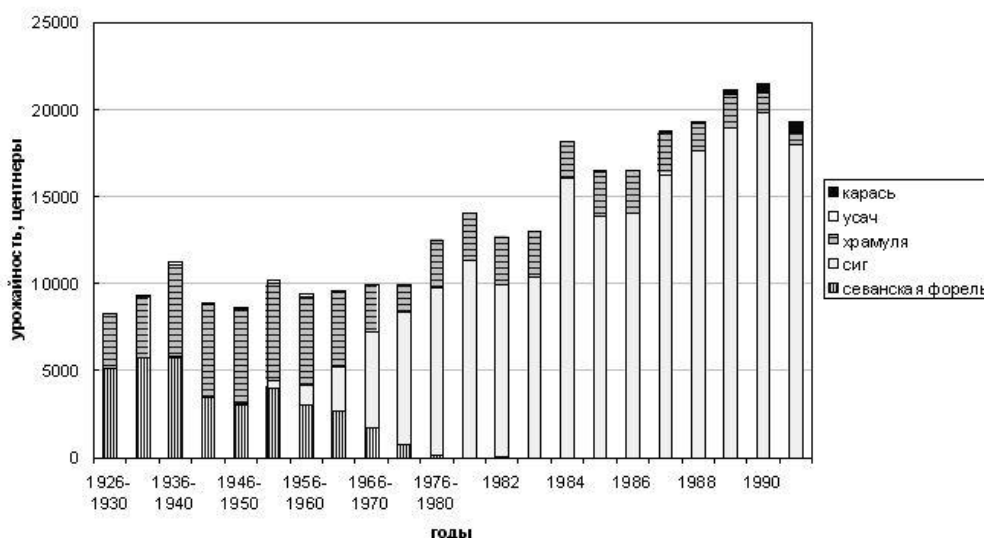
В связи с искусственным снижением уровня воды в оз. Севан стали происходить существенные изменения биохимической циркуляции, структурно-функциональных цепей и видового состава биоты (Данелян, 1996). В результате к началу 1960-х гг. озеро подверглось быстрому эвтрофированию и буквально за несколько лет превратилось из "чистого" водного бассейна в "средне загрязненный". Биомасса фитопланктона увеличилась значительно и стала сравнима с биомассой эвтрофных озер. В Большом Севане максимальная биомасса увеличилась в 22 раза (18 г/м<sup>2</sup>), а в Малом Севане – в 10 раз (7.3 г/м<sup>2</sup>). Общая средняя биомасса зоопланктона в озере в этот же период увеличилась от 0.44 до 0.86 г/м<sup>3</sup>. Значительные изменения произошли и в видовом составе фито- и зоопланктона. В фитопланктоне с середины 1950-х гг. в составе пелагического комплекса появилось около 20 новых видов водорослей. В структурном составе фитопланктона все большую роль стали играть сине-зеленые водоросли. Начиная с 1964 г. в озере ежегодно стало наблюдаться их «цветение». В зоопланктоне произошло увеличение в 15 раз средней биомассы коловраток, дафний – в 2.5 раза, копеподы – в 1.7 раза. В последние годы произошла смена доминантов с *Daphnia longispina* на *Diaphanosoma brachyurum* (Крылов и др., 2007).

Озерная ихтиофауна Севана представлена эндемичными видами: севанской форелью (*Salmo ischchan*), усачом (*Barbus goktshaikus*), и храмулей (*Varicorhinus capoeta*), а также вселенцами: ладожским сигом (*Coregonus lavaretus*), золотым карасем (*Carrasius auratus*). Наряду с рыбами в озере обитают 4 вида амфибий и 18 видов рептилий (Babayan et al., 2003).

До начала спуска воды рыбное хозяйство оз. Севан было построено преимущественно на вылове форели, несколько меньшее значение имела хромюля. Общая рыбопродуктивность озера в естественных условиях составляла около 9 кг/га. С началом спуска воды начались изменения во всей экосистеме озера, цепная реакция воздействовала и на ихтиофауну. По мере эвтрофирования, к 1970 г. Рыбопродуктивность озера сначала увеличилась до 14 кг/га, однако в рыбном сообществе произошли существенные изменения - доминантными видами стали вселенные сиви (до 70-75 %), в то время как численность форели сократилась



### Уловы рыбы, оз Севан



**Рис. 6.20.** Изменение урожайности рыб в оз. Севан в связи со сработкой уровня, 1926-1991 гг. по данным Института гидрологии и ихтиологии Национальной Академии Наук Армении.

настолько, что она была объявлена заповедным видом (рис. 6.20). К сожалению, в последующие годы произошло сокращение и популяции сиговых рыб. Массовая гибель сига наблюдалась в озере с 1993 по 1995 гг. и была связана с сокращением кормовой базы на фоне изменений общей экологической ситуации в экосистеме озера. По данным Института гидрологии и ихтиологии Национальной Академии Наук Армении за последние два десятилетия популяция сига сократилась примерно на 95%, упав до 170 тонн, тогда как еще в начале 1980-ых годов она составляла около 30 тыс. тонн. В связи с этим в 2010 г. был введен долгосрочный запрет на вылов форели и сига, призванный восстановить их сокращающуюся популяцию. Предполагается, что мораторий на вылов рыбы продлится минимум около трех лет.

Оз. Севан всегда отличалось богатством орнитофауны, представленной 210 видами из которых 36 были внесены в Красную Книгу Армении. Оно являлось важным центром популяции армянской чайки (*Larus armenicus*), американского лебедя (*Cygnus columbianus*), пiskuльки (*Anser erythropus*), красноногого и белоглазого нырка (*Netta rufina*, *Aythya nyroca*), и Черноголового хохотуна (*Larus ichthyaetus*). Кроме того, около озера обитали каменная и серая куропатки (*Alectoris graeca*, *Perdix perdix*), кряква (*Anas platyrhynchos*), огарь (*Tadorna ferruginea*), разные виды чаек, гусь, белокрылый турпан (*Melanitta leucoptera*), бело-

головая утка (*Aix leucophrys*), лысуха (*Fulica atra*), пеганка (*Tadorna tadorna*), чернокрылый ходулончик (*Himantopus*). В период перелетов на озере отдыхали пеликаны, фламинго, лебеди, большой и малый баклан и др. С падением уровня озера его орнитофауна понесла значительный ущерб, гнездовые популяции многих птиц в начале 1960-х годов исчезли. Сокращение макрорастительности, осушение болот оз. Гилли и интенсификация неорганизованного туризма привели к тому, что из 90 видов водно-болотных птиц гнездившихся раньше на озере, в настоящее время гнездятся только 4 (Бабаян, Агабабян, 2008). Сократилось и количество птиц, использующих озеро на пути миграции.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора озера Севан составляет в настоящий момент, с учетом перебросок, 4891 км<sup>2</sup> (Оганесян, 1994). В бассейне проживает около 280 тыс. человек (2001 г.), при этом города и деревни расположены преимущественно вокруг побережья. Основное занятие населения – сельское хозяйство и рыбная ловля. Главные культуры - пшеница, ячмень и картофель, также активное развитие в регионе имеет такая традиционная отрасль, как животноводство. Промышленность развита достаточно слабо, ее основные центры – города Севан и Гавар, в которых в советское время работали заводы по производству электролитических конденсаторов, электростеклоизо-

ляции, предприятия приборостроения, легкой и пищевой промышленности. После провозглашения независимости Армении в начале 1990-х гг. доля промышленного сектора в экономике резко снизилась.

Оз. Севан известно находящимися на его побережье памятниками культуры и рекреационными ресурсами. Как экосистема оз. Севан играет существенную роль в создании более умеренного климата в целом регионе. Озеро рассматривается как зона курорта, источник ирригации, рыболовства, энергии, и потенциальной питьевой воды.

### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

За период падения уровня оз. Севан его бассейн претерпел сильные изменения: в несколько раз увеличилось проживающее здесь население (в основном городское), получили развитие такие отрасли хозяйства, как промышленность, строительство, транспорт, сельское хозяйство, животноводство и др. В результате антропогенный пресс на водоем значительно вырос. Существенно увеличился объем коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных стоков, богатых биогенными веществами, солями тяжелых металлов, различными ядохимикатами. Загрязнение озера происходило также сточными водами пансионатов, домов отдыха и санаториев, расположенных по его берегам (Бабаян, Агабабян, 2008). Только в 1970-90 е гг. в озеро ежегодно сбрасывалось в среднем 7000 т азота, 400 т фосфора, около 13 т ядохимикатов и 135 т тяжелых металлов. Немаловажное значение в ухудшении экологического состояния озера имел интенсивный и неконтролируемый забор воды из притоков, который привел к их значительному обмелению, особенно в весенне-летний период.

В результате активного антропогенного вмешательства и семидесятилетнего падения уровня оз. Севан в нем возникла масса отрицательных последствий. С начала понижения уровня значительно повысилось содержание биогенных веществ в воде, приведшее к быстрому эвтрофированию водоема. Его первыми признаками явилось "цветение" воды, зафиксированное в 1964 г. и вызванное развитием сине-зеленых водорослей. В дальнейшем эвтрофирование прогрессировало, происходила олиготрофно-эвтрофная сукцессия, сопровождавшаяся дестабилизацией всех процессов в экосистеме оз.

Севан, следствием чего явилось значительное ухудшение качества озерной воды (Оганесян, 1994). Из олиготрофного водоема Севан превратился в мезотрофный, постепенно приближающийся к эвтрофному уровню. Эвтрофирование сопровождалось перестройкой всего биологического сообщества, и в результате озеро достаточно быстро превратилось из форелевого водоема в сиговое, дальнейшее повышение трофности приводит к замене сигов и форелей на карповых рыб. Предпринятые с начала 2000-х гг. меры и введенный в 2010 г. запрет на вылов сигов может привести к положительным результатам, однако многие специалисты очень сомневаются в возможности восстановления сигового сообщества в полном объеме.

В связи со снижением уровня воды, наряду с возрастающей эвтрофированностью, перед озером стоит серьезнейшая опасность утраты гипolimниона, исчезновение придонного холодного слоя воды с наибольшей плотностью и достатком кислорода, который изолировал диффузию веками накопленных на дне органических веществ в верхние слои, регулировал биогеохимический круговорот веществ. К началу 2000-х гг. объем гипolimниона сократился в Малом Севане на 50% (с 13 до 6 км<sup>3</sup>) и практически полностью исчез в Большом Севане (Нац. доклад, 2002). Возникшее в озере в связи с утратой гипolimниона увеличение интенсивности горизонтальных и вертикальных водных течений привели к увеличению в несколько раз количества взвешенных и растворенных органических веществ с аллохтонным и автохтонным генезисом, которые до того были изолированы придонным холодным слоем воды (Оганесян, 1994). При этом нарушенная защитная зона озера - пояс макрофитов, ограничивающий и нейтрализующий воды озера от ядовитых сливов и загрязнений, при повышении поступления биогенных веществ со дна не может более выполнять своих прямых функций.

Увеличение количества взвешенных и растворенных органических веществ более чем в пять раз уменьшили прозрачность воды в три раза (Гаспарян, 2006). В результате окисления вошедших в круговорот придонных органических веществ концентрация кислорода в озере снизилась с 8.0 мг/л до 3.0 мг/л, а в придонных слоях приблизилась к аналитическому нулю (Оганесян, 1994). Концентрация биогенных элементов, особенно - азота, увеличилась 30

раз (с 0.01 до 0.32 г/м<sup>3</sup>), стимулируя массовый рост и размножение водорослей. Нарушились процессы диффузии и седиментации, окислительно-восстановительные процессы придонных слоев. Как следствие перечисленных, а также других изменений физико-химических процессов, в трофических цепях экосистемы озера произошли многочисленные, а в некоторых их звеньях и необратимые биологические перестройки. Биомасса высших водных растений сократилась с 900000 до 8000 тонн. Поглощая весь азот, находящийся в озере, они ранее тормозили массовый рост и размножение одноклеточных водорослей, для которых на настоящий момент возникли условия максимального благоприятствования. Из-за увеличения количества азота, а также потери биомассы высших водных растений биомасса одноклеточных водорослей в 1 кубическом метре увеличилась в 20 раз - с 0.3 до 5-6 г. Видовые и количественные изменения озерной флоры привели к глубоким взаимосвязанным качественным и количественным изменениям бактериопланктона и многоклеточных беспозвоночных животных или их сообществ.

Исчезновение береговых зарослей оз. Севан, осушение болот озера Гилли, рост неорганизованного туризма привели к практически полному исчезновению нерестелищ, кормовых угодий рыб и гнездовой водоплавающих птиц (Оганесян, 1994).

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

С целью охраны уникальной природы региона в 1978 году в Севанском бассейне был создан национальный парк «Севан» с четырьмя заповедниками и десятью заказниками. Включая буферные зоны, под охраной парка находится 150100 гектаров, из которых лишь 24800 га – земной поверхности (Babayan et al., 2003). Кроме того, озеро Севан с 1993 г. отнесено к Рамсарским охраняемым территориям.

В 1996-1998 гг. для улучшения состояния озера Севан была разработана программа «Восстановление экологического равновесия озера Севан», включающая мероприятия по усовершенствованию и созданию законодательства, вопросов управления, поднятия уровня озера, очистки сточных вод на территории водосборного бассейна, управления хозяйственными и промышленными отходами, пре-

дотвращения неточечного загрязнения, охраны и воспроизведения рыбных запасов, охраны биоразнообразия. Учитывая важное значение оз. Севан для республики в 2001 г. Национальное Собрание Республики Армения приняло закон «Об озере Севан», согласно которому озеро определяется как экологический, хозяйственный, социальный, научный, историко-культурный, эстетический, здравоохранительный, климатический, рекреационный и духовный объект, имеющий стратегическое значение как источник питьевой воды. Были разработаны и приняты «Ежегодные и комплексные программы мероприятий по экосистеме, восстановлению, охране, воспроизведению и использованию озера Севан».

Наиболее важным шагом в деле охраны озера Севан является прекращение забора воды для производства энергии. Второй шаг заключается в финансировании кругового коллектора стоков или местной водоочистительной станции. Важнейшей задачей по оздоровлению Севана является восстановление его гиполимниона. Если в 1990-х гг. предполагалось добиться повышения уровня воды на 6 метров, на 2 м выше того уровня, при котором началось цветение воды, то теперь ученые отказались фиксировать какую-то определенную цифру. Они пришли к выводу, что говорить о нормальном состоянии озера можно будет только после восстановления гиполимниона. Начиная с 2003 г. финансовую поддержку социальных программ в Армении, а также программы по восстановлению озера Севан оказывают Глобальный Экологический Фонд и Мировой Банк. Согласно плану по восстановлению озера в течение 30 лет его уровень должен быть повышен на 6.5 метров и достигнет значения, наблюдавшегося в 1957 г. Подъем уровня уже начался и достаточно быстрыми темпами. Однако, при быстром повышении уровня остается проблема дополнительного биогенного загрязнения озера за счет залива земель, которые к настоящему времени находятся под искусственным лесом. В этой связи проводятся работы по расчистке от леса заливаемых земель, однако уже сейчас ясно, что их темпы оказываются недостаточными. Кроме сведения леса необходим также демонтаж зданий, построенных в последние десятилетия на территории, которую ранее занимало озеро.

## Глава 7. КРУПНЕЙШИЕ ОЗЕРА ВЫСОКИХ ШИРОТ

В данной главе описываются три озера, расположенные в высоких широтах, в приполярных областях Земного шара, ограниченных 66 градусом. Это два крупнейших российских арктических озера – Таймыр и Имандра и антарктическое оз. Восток. Необходимо отметить, что количество крупных озер высоких широт, расположенных в пределах северного полушария, несколько больше. Однако в данной книге рассматриваются лишь два из них, являющиеся результатом многолетних исследований российских ученых-лимнологов и представляющие собой уникальные экосистемы. Наряду с выше названными, к крупнейшим озерам высоких широт можно также отнести канадские озера Неттилинг (5542 км<sup>2</sup>) и Амаджуак (3058 км<sup>2</sup>), Такиюак (1030 км<sup>2</sup>), Контуойто (933 км<sup>2</sup>), Тешекпук (820 км<sup>2</sup>), финское оз. Инари (1043 км<sup>2</sup>), а среди российских озер - также Топозеро (986 км<sup>2</sup>) и оз. Хантайское (880 км<sup>2</sup>).

Антарктическое оз. Восток - крупнейший резервуар чистой воды на Земле. Несмотря на то, что сведений о нем пока очень мало, в силу его уникальности не включить его в число Великих Озер мира просто невозможно. Ведущая роль в открытии оз. Восток принадлежит российскому ученому, предсказавшему существование подледных озер в Антарктиде ещё в 1960-70-х гг. Однако широкую известность это открытие получило только в 1996 г., после публикации в журнале “Nature” совместной статьи российских и британских полярников. Открытие оз. Восток заслуженно рассматривается как последнее крупнейшее географическое открытие XX века.

### 7.1. ОЗЕРО ТАЙМЫР

Озеро Таймыр является единственным водоемом значительных размеров, расположенным далеко на севере на границе арктической и субарктической зон. Его координаты 73°47' - 75°07' с.ш., 100°17' - 105°50' в.д. Его географическое положение в центре почти необитаемых тундр Таймырского полуострова было причиной того, что долгое время озеро оставалось неисследованным. Первые экспедиции на озеро были организованы только в 1943 г., хотя первые геологические экспедиции датируются 1920-ми годами.

Бассейн озера с реками Верхней и Нижней Таймырой располагается между 73 и 76° с.ш. и 92 и 108° в.д. на территории Таймырской низменности в зоне мохово-лишайниковой и кустарниковой тундры в районе вечной мерзлоты. С юго-востока границей его служит водораздел с бассейном р. Хатанги, с юга – водораздел с бассейном р. Дудыпты и с запада – водораздел с бассейном р. Пясины. Площадь водосбора 90800 км<sup>2</sup>. В сравнительно недавнем прошлом бассейн озера находился в зоне морской трансгрессии.

Таблица 7.1 Морфометрические показатели озера Таймыр

Характеристики	Значения
Высота над уровнем моря, м	3
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	4560
Объем водной массы, км <sup>3</sup>	13
Максимальная глубина, м	26
Средняя глубина, м	4.6

Само озеро занимает обширную котловину, лежащую с севера у подножья крутых склонов плато Бырранга, здесь берега озера скалистые и круто спускаются к воде. Южный же берег слагается мягкими четвертичными отложениями – галечными, глинистыми, песчаными. В широтном направлении озеро простирается на расстояние 160-170 км и является сильно расширенным участком реки Верхней Таймыры, заполнившей тектоническую трещину, образованную в период таяния ледникового щита (Грезе, 1947). Озеро имеет четыре хорошо выраженных плеса (рис. 7.1).

Наиболее крупным притоком озера является р. Верхняя Таймыра, а также реки Яму-тариди, Хелиди-тари и ряд второстепенных мелких притоков, впадающих в озеро на южном берегу. Сток из озера осуществляется через Нижнюю Таймыру, впадающую в Таймырский залив Карского моря. Климат в окрестностях озера теплее, чем на окружающих тундровых территориях, поскольку расположенные с его северной стороны горы изолируют озерную котловину от холодных ветров с моря. В летнее время в районе озера температура воздуха иногда поднимается до 21-25°С. При этом среднемесячная температура поверхностного слоя воды в самый теплый месяц (август) в 1978-1980 гг. составляла лишь 6.6-8.1°С.

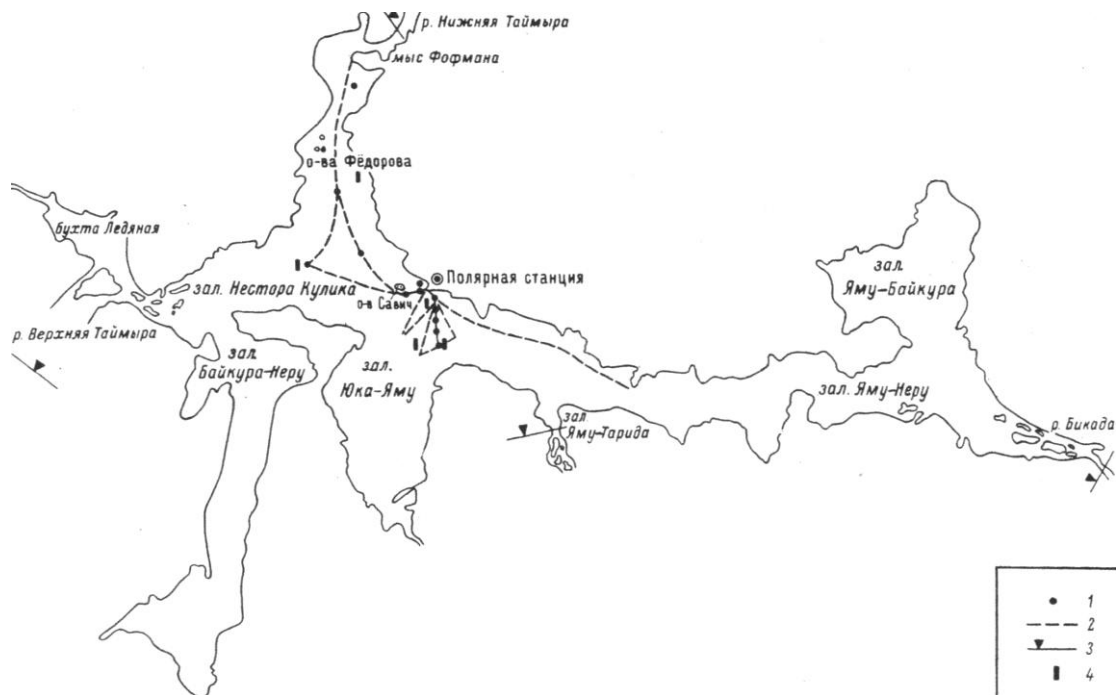


Рис. 7.1. Оз. Таймыр. Источник: География оз. Таймыр, 1985.

Озеро питается преимущественно талыми водами, которые приносят многочисленные реки из-за чего прозрачность воды низкая и по диску Секки составляет всего 0.3-1.8 м, а количество взвешенных веществ достигает 13.6 мг/л. Около девяти месяцев озеро покрыто льдом, причем значительная его часть (до 80%) промерзает до дна. Озеро наполняется водой только весной, и до 75% воды теряет к следующей весне, что связано с отсутствием грунтового питания. Отсюда уровень озера подвержен значительным колебаниям, амплитуда которых достигает в среднем 5 и более метров (География озер..., 1985).

Тенденции современного изменения режимов тепла и влаги позволяют ожидать увеличения тепло- и влагообеспеченности в районе оз. Таймыр, хотя в последнее время преобладающими были тенденции уменьшения увлажнения на территории водосборного бассейна.

Озеро является мелководным, почти 80% всей его акватории составляют мелководья с глубинами не более 5-6 м. Глубоководная область озера расположена между бухтой Ожидания и заливом Юка-Яму (рис. 7.1).

В озере Таймыр, также как и в озере Хазен,

самом северном озере мира, полностью отсутствует высшая водная растительность. Однако в отличие от указанного озера в оз. Таймыр наблюдалось достаточно высокое количество фосфора (до 49 мкг Р/л на поверхности и 73 мкг Р/л у дна), что очевидно объясняется влиянием коренных пород пермского возраста. Такая концентрация фосфора сказалась на развитии планктонных организмов. Исследования, проведенные в 1980 г., показали, что в августе в планктоне озера наибольшего разнообразия достигают диатомовые водоросли, представленные 23 видами и разновидностями. Кроме того, обнаружено 3 вида зеленых, 2 вида синезеленых и 2 вида золотистых. Наибольшего разнообразия достигают диатомовые водоросли, представленные 23 видами и разновидностями. К доминирующим видам можно отнести *Asterionella formosa*, *Melosira italica*, *M. italica var. tenuissima*, *M. islandica subsp. helvetica* (Щур, Сидько, 1985). Более ранние исследования также указывали на доминирующее положение диатомовых, полное отсутствие десмидиевых и слабое развитие протококковых и синезеленых (Грезе, 1957). Количество хлорофилла и фитопланктона в озере имеют хорошо выраженную вертикальную стратификация на всех станциях, несмотря на небольшие глу-



бины. Максимум величины биомассы отмечен в слое 0.5-1.0 м, а максимум хлорофилла «а» - на глубине более 1 м. Биомасса фитопланктона в среднем в столбе воды составляла 0.4-1.0 г/м<sup>3</sup>, а величины хлорофилла «а» - 0.2-0.4 мг/м<sup>3</sup>, причем эти данные были получены при ежедневном отборе проб в течение 5 суток (1980 г.), что говорит об их большой изменчивости. Низкие значения концентрации хлорофилла при сравнительно высоком содержании биомассы очевидно обусловлены низкими значениями температуры воды. Первичная продукция в озера составляла 1.09-2.64 мкг С/л в сутки, превышая почти в 100 раз продукцию фитопланктона в оз. Хазен (Румянцев и др., 2010). Зимой фитопланктон практически отсутствовал.

Зоопланктон в оз. Таймыр состоит из 3 групп организмов – коловраток (38 видов), кладоцер (13) и копепод (19). Реликтовое происхождение озера обуславливает присутствие в нем комплекса реликтовых видов таких как *Limnocalanus macrurus*, *Eurytemora gracilis* (Грезе, 1957). Качественно зоопланктон беден по всей акватории озера, но количественно в различных участках озера неодинаков. Так, биомасса зоопланктона изменялась от 13.6 мг/м<sup>3</sup> в заливе Яму-Неру до 253.3 мг/м<sup>3</sup>. Средняя биомасса зоопланктона в период открытой воды составляет 0.23 г/м<sup>3</sup>, а зимой в 4 раза меньше (0.05 г/м<sup>3</sup>) (Романов, Тюльпанов, 1985).

Основу кормовой базы обитающих в озере рыб составляют донные организмы. Наиболее заселен озерный ил, который характеризуется наиболее высокой численностью (2882 экз./м<sup>2</sup>) и биомассой (5.14 г/м<sup>2</sup>) бентофауны. В основном она представлена на 97% олигохетами, амфиподами и личинками тендипедид. В озере также обнаружен комплекс форм морского происхождения *Pontoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa*, *Gammaracanthus lacustris*, *Mysis oculata relicta*, присутствие этого комплекса также подтверждает реликтовый характер озера. Песчаные грунты занимают прибрежную (0-3 м) зону, которая занимает 26% общей площади дна озера и большей частью промерзает зимой, поэтому плотность бентосного населения здесь достаточно низкая – численность 160 экз./м<sup>2</sup> и биомасса 0.26 г/м<sup>2</sup> с преобладанием личинок хирономид (47%). То же можно сказать о заиленном песке, который занимает 31% площади (глубины 2.5-5 м). Здесь отмечены явления анабиоза некоторых организмов (личинок хирономид, червей). Зона

илистых грунтов, расположенная на глубинах 5-15 м, характеризуется наибольшим разнообразием донной фауны и наибольшими показателями биомассы, достигающей здесь 4.6 г/м<sup>2</sup>, большую часть биомассы составляют олигохеты и амфитоды. Из последних в массовом количестве размножаются *Pontoporeia affinis* и, слабее, *Pallasea quadrispinos*. Здесь также встречаются моллюски, которые вносят значительный вклад в общую биомассу (Грезе, 1957).

Ихтиофауна озера генетически молода. Она представлена 20 видами и формами, относящихся к проходным, полупроходным, озерно-речным и озерным рыбам. Рыбы, относящиеся к проходным и полупроходным формам, нагуливаются в солоноватых водах Таймырского залива и в прибрежье Карского моря, на нерест поднимаются в Нижнюю и Верхнюю Таймыру и их притоки. Для самого озера характерно 10 видов, представленных исключительно холоднолюбивыми рыбами. Особенностью ихтиофауны озера является большое число форм рода *Coregonus* – сибирская ряпушка, омуль, сига, муксун, чир, пелядь, которые являются главными промысловыми рыбами. Голец представлен двумя видами, один из которых является эндемиком - озерный голец (*Salvelinus taimyricus* Michin.). Проходной голец – также ценная промысловая рыба. По расчетам общая рыбопродуктивность озера составляет 7.7 тыс. т, а эксплуатационная – 230 т. В 1980-е годы добыча превысила 500 т, что отрицательно сказалось на рыбных запасах. Довольно низкая рыбопродуктивность определяется суровыми условиями обитания и довольно низкой кормовой базой. Запасы зообентоса ограничены, что приводит к межвидовой конкуренции, особенно выраженной у сига и чира в весенне-летний период, когда эти рыбы в поисках пищи заходят на низкие заливные тундровые участки побережья. Бентосоядные муксун и сиг в условиях оз. Таймыр питаются планктоном (Михин, 1955). Лососевые и сиговые оз. Таймыр и его бассейна, приспособившиеся в результате эволюции к исключительно суровым условиям обитания и давшие ряд уникальных, нигде больше не имеющих форм, представляют собой бесценный фонд для рыбоводства и селекции, который необходимо сохранять для будущего (Романов, Тюльпанов, 1985).

В 1983 г. озеро вошло в состав Таймырского заповедника, что позволит рационально использовать промысловые рыбные запасы.



## 7.2. ОЗЕРО ИМАНДРА

Озеро Имандра является самым большим озером на Кольском полуострове. Оно находится на крайнем северо-западе Европейской территории России в Мурманской области и расположено в депрессии, отделяющей Кольской полуостров от материковой части. Его координаты 67°21' - 68°04' с.ш. и 31° 52' - 33° 27' в.д. Интенсивное освоение природных богатств Крайнего Севера и в частности Кольского полуострова не могло ни затронуть уникальные свойства озера Имандра, а также его крупнейшие рыбные запасы. Озеро, как и все северные экосистемы, чрезвычайно уязвимо к антропогенному воздействию. Это одно из немногочисленных водоемов Крайнего Севера, для которого имеются многолетние ряды наблюдений по основным звеньям экосистемы, позволяющие не только оценить, но и прогнозировать сокращение техногенного ущерба на природные озерные экосистемы. В вышедшей в 2002 г. книге «Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра» были обобщены многолетние данные по озеру и ее водосбору.

Котловина оз. Имандра расположена среди кристаллических образований архейского и нижнепротерозойского возраста. Она имеет тектоническое происхождение и непосредственно связана с Хибинским массивом. Основные тектонические линии в рельефе водосбора озера, намечившиеся еще в момент образования, сохранились до настоящего времени. Двигавшиеся по направлению тектонических разломов ледники расширили и несколько деформировали первичные трещины, придав более мягкие очертания всему рельефу.

Для озера характерно многообразие берегов. Скалистые берега распространены там, где к берегу примыкают возвышенности. Валунные берега наиболее распространены, и к ним относятся так называемые корги – каменистые мели, состоящие из нагромождения валунов и глыб в открытой части озера. Песчаные берега имеют значительно меньшее распространение, чем скалистые и валунные. Обычным явлением являются болотно-торфяные берега.

Климат региона находится под смягчающим влиянием окружающих область морей и особенно запасов тепла, приносимого северной ветвью теплого течения - Мурманским прибрежным течением. Зима здесь продолжается в течение семи месяцев (октябрь – апрель). В районе Имандры средняя месячная темпе-

ратура воздуха в январе и феврале равна соответственно 12.6 и 12.8° С. В зимний период характерны оттепели. В июле самая низкая температура воздуха была -2° С, а самая высокая + 32° С. Лето короткое: период со средней суточной температурой выше 10°С составляет 71-74 дня. Территория оз. Имандра является зоной избыточного увлажнения вследствие низкой испаряемости влаги. Годовое количество осадков в Имандре в зависимости от района составляет 414-481 мм.

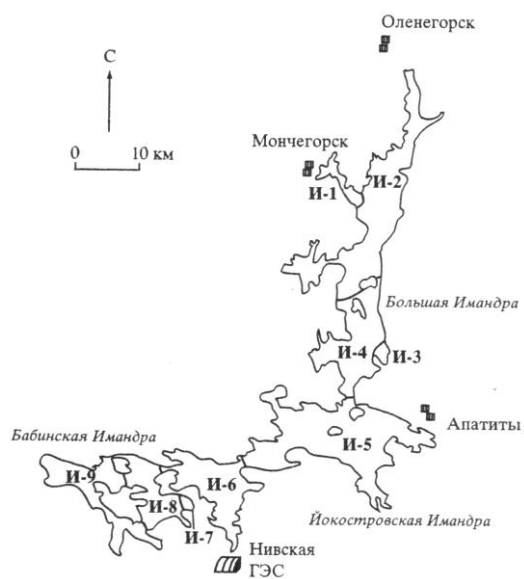
Таблица 7.2. Морфометрические показатели озера Имандра

Характеристики	Значения
Высота над уровнем моря, м	126.7
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	812
Общая площадь озер (с островами), км <sup>2</sup>	880.4
Объем водной массы, км <sup>3</sup>	10.9
Максимальная глубина, м	67
Средняя глубина, м	13.3
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	12 300

Продолжительность открытого периода составляет 160 дней. Максимальная температура воды на поверхности, как правило, была в июле (до 19.5°С). Для озера характерно ветровое перемешивание водной массы, что приводит к выравниванию поверхностной и придонной температур. В очень теплые годы возникает вертикальная стратификация, однако только в редких случаях слой скачка сохраняется дольше одной декады. Сильное ветровое перемешивание в осеннее время вызывает значительное выхолаживание водной массы озера, и к началу ледостава средняя ее температура снижается до 1.0-0.5 °С (Варенцов, 1975).

В озере находится более 140 островов, наиболее крупный из них – Ермозеро (26 км<sup>2</sup>). Глубины у берегов озера довольно резко увеличиваются и часто на расстоянии 250-300 м от берега достигают 10-12 м, поэтому литораль выражена слабо, и только в северной и южной части озера она несколько шире. Озеро состоит из трех в значительной мере обособленных плесов: Большая Имандра, Йокостровская и Бабинская, характеризующихся различными глубинами и показателями открытости и емкости (рис. 7.2). Плес Большая Имандра по

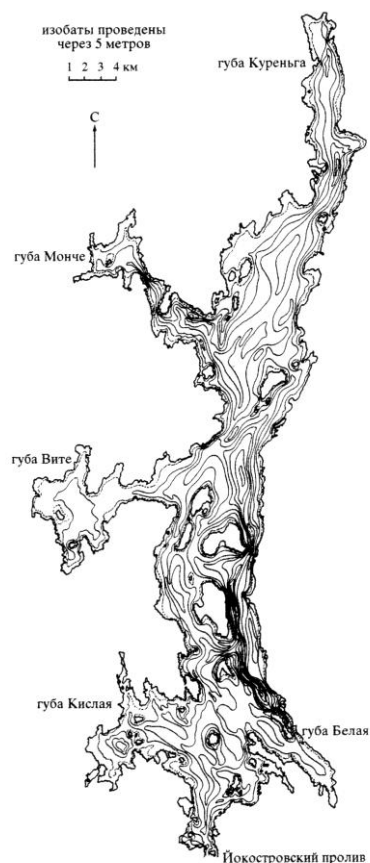
площади водного зеркала уступает Йокостровской Имандре (соответственно 311.6 и 352.2 км<sup>2</sup>), но является самой глубокой частью озера с максимальной глубиной 67 м. В Большой Имандре глубины 20-25 м занимают всего 12.3% площади, глубины 15-20 м – 36.4% (рис. 7.3). В Йокостровском плесе наибольшую площадь занимают глубины 5-10 м (25.3%), максимальная глубина здесь 42 м. Плес Бабинская Имандра с площадью зеркала 148.7 км<sup>2</sup> по глубинам занимает среднее положение между Большой и Йокостровской Имандрой. Здесь наибольшую площадь занимают глубины 10-15 м (25.2 %) и 15-20 м (20.4%), а максимальная глубина - 43.5 м. (рис. 7.4). Из Йокостровского плеса берет начало река Нива, впадающая в Кандалакшский залив Белого моря. С созданием в 1952 г. ГЭС на р. Ниве (сейчас это каскад ГЭС) озеро Имандра стало водохранилищем многолетнего регулирования. Размах колебания уровня – 200-2005 см. С 1973 г. благодаря вводу Кольской АЭС, сработка уровня воды каскадом Нивских ГЭС не превышает 1.5 м.



**Рис. 7.2.** Районирование оз. Имандры. Источник: Антропогенная модификация ... , 2002

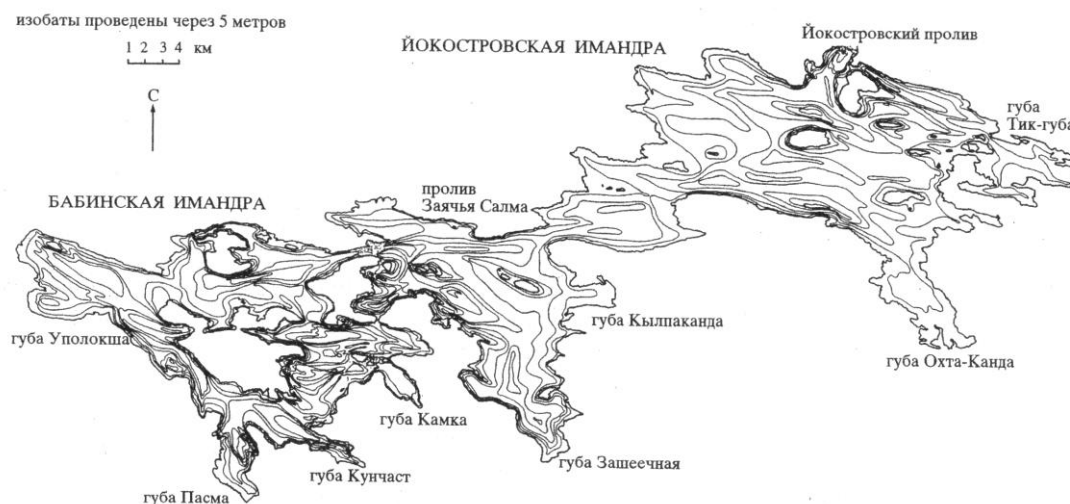
Наличие уникальных месторождений полезных ископаемых и удобное расположение основных транспортных магистралей способствовало развитию в регионе мощного индустриального комплекса. Интенсивное освоение месторождений началось в 1930-1940 гг. Среди основных производств выделяются следующие: горнодобывающая промышленность (ОАО «Апатит»,

города Апатиты и Кировск), металлургическая промышленность (Кольская ГМК, ОАО «Североникель», г. Мончегорск), железорудное производство (ОАО «Олкон», г. Оленегорск), энергетический комплекс (Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ, каскад Нивских ГЭС). Озеро загрязняется как в результате различных по характеру стоков, так и за счет выпадения загрязняющих веществ из атмосферы. В озеро поступают в основном сульфаты, хлориды, фториды, фосфаты, нефтепродукты, органические вещества. Сточная вода, поступающая в озеро, крайне загрязнена тяжелыми металлами - никелем, железом, медью (Моисеенко и др., 1997). Выбросы сернистого газа привели к закислению водосбора. На водосборе озера проживает более 300 тыс. человек, что составляет почти 35 % от общего числа жителей Мурманской области.



**Рис. 7.3.** Батиметрическая карта Большой Имандры. Источник: Антропогенная модификация ... , 2002

Довольно полные гидрохимические исследования 1920-1930 гг. дают возможность представить природный фон озера (Рихтер, 1934, Семенович, 1940). До начала работымыш-



**Рис. 7.4.** Батиметрическая карта Йокостровской и Бабинской Иmandры. Источник: Антропогенная модификация ... , 2002

ленного комплекса озеро отличалось низкой минерализацией – 20-30 мг/л и относилось к гидрокарбонатно-натриевому типу. Доминирующую роль в снабжении озерной воды натрием, кальцием и магнием играли процессы химического выветривания силикатов и алюмосиликатов, а калием - нефелиновые сиениты. По содержанию биогенных элементов озеро характеризовалось как олиготрофное, насыщенные воды кислородом было высоким и даже у дна не снижалось ниже 60-80 %, величина рН колебалась в пределах 6.4-7.2, перманганатная окисляемость – 3-5 мгО/л, прозрачность воды достигала 6.5-11 м. В настоящее время (данные 1993-1998) даже в относительно не загрязненном плесе Бабинская Иmandра минерализация воды составляет 45 мг/л, а в наиболее загрязненном плесе Большая Иmandра – 72 мг/л. Вода стала относиться к классу сульфатов и только в плесе Бабинская Иmandра содержание гидрокарбонатов выше, чем сульфатов. Во всем озере величины рН колебались в пределах 7.06-7.30. Прозрачность воды изменялась от 3 м в Большой Иmandре до 6 м в Бабинской. В зимний период в толще воды отмечался дефицит кислорода. Величина перманганатной окисляемости мало изменялась по зонам и за весь период исследований и в среднем за последние 10 лет по озеру составляла 3.5 мг О/л.

В настоящее время содержание общего фосфора соответствует природному только в плесе Бабинская Иmandра (5-13 мкг Р/л). В плесе Большая Иmandра, наиболее подверженному загрязнению, концентрация общего фосфора в

отдельные годы достигала 80-130 мкг Р/л, а в районе поступления сточных вод предприятия «Апатит» даже до 200-300 мкг Р/л. В Йокостровской Иmandре концентрация общего фосфора колеблется в пределах 6-26 мкг Р/л. Максимальные значения общего азота в озере наблюдались в 1991-1992 гг. - 400-650 мкг/л, в последующие годы эти значения снизились в Большой Иmandре до 200-400 мкг/л, в других плесах были не выше 300 мкг/л. По соотношению азота и фосфора можно говорить о возможных процессах эвтрофирования в плесе Большая Иmandра (Моисеенко и др., 2002).

Высшая водная растительность в озере очень бедна. Крутой уклон дна, преобладание в литорали песчано-каменистых грунтов мешают развитию макрофитов даже в заливах. Отдельные очень разреженные группировки тростника и хвоща были обнаружены в некоторых заливах главного плеса.

В озере отмечено большое видовое разнообразие фитопланктона, обнаружено 234 таксона водорослей рангом ниже рода. До периода интенсивного освоения территории водосбора и развития промышленных предприятий в фитопланктоне преобладали десмидиевые и диатомовые водоросли (Воронихин, 1935). Летом 1960 г. в планктоне плеса Большая Иmandра уже было отмечено массовое развитие не только диатомовых, но и синезеленых (Петровская, 1966). В настоящее время в районах, отдаленных от промышленных выбросов, фитопланктон преимущественно представлен диатомовыми, динофитовыми и золотистыми водорослями, наиболее

массовыми видами являются *Peridinium cinctum*, *P. aciculiferum*, *Dinobryon bavaricum*, *Aulacoseira italica*, *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*, *Ceratium hirundinella*, *Rhizosolenia longiseta*. В загрязненных районах озера кроме диатомовых преобладают синезеленые, кроме того, в доминирующей группе появились криптофитовые и вольвоксовые водоросли, как правило, массовыми видами являются *Limnithrix planctonica*, *Phormidium tenue*, *Cryptomonas* sp., *Aulacoseira islandica*, *Stephanodiscus rotula*, *Eudorina elegans*, *Pandorina morum*. В озере формируются нетипичные для субарктики фитоценозы и ограничено развитие арктических видов. Распределение фитопланктона по акватории озера определяется прежде всего обеспеченностью биогенными элементами. В плесе Большая Имандра биомасса фитопланктона колебалась в пределах 1.5 - 3.0 г/м<sup>3</sup>, содержание хлорофилла «а» - 4 – 8 мг/м<sup>3</sup>. По этим показателям Большую Имандру можно отнести в мезотрофному типу, за исключением более эвтрофных губ Монче и Белой, подверженных влиянию хозяйственных и промышленных стоков. В других плесах эти величины соответственно составляют 0.7-1.1 г/м<sup>3</sup> и 1-3.5 мг/м<sup>3</sup>, что соответствует олиготрофному озеру ( Шаров, 2002).

Таксономическая структура зоопланктонного сообщества – хороший индикатор степени загрязнения водоема в целом и его отдельных участков. Для озера характерен обедненный состав зоопланктона, который изучался с конца 19-го века, но наиболее полно исследовался в 1940-1975 и 1981-1996 гг. (Семенович, 1940, Дольник, Стальмакова, 1975, Вандыш, 2002). Обнаружено 25 видов организмов, из них коловраток – 10, кладоцер – 7, копепоид – 8. Коловратки *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* наиболее устойчивы к влиянию сточных вод промышленных производств. С удалением от источников загрязнения отмечен рост доли ветвистоусых и веслоногих ракообразных (*Daphnia cristata*, *Cyclops scutifer*, *Mesocyclops leuckartii*) и развитие наиболее чувствительных к загрязнению каланоид (*Eudiaptomus gracilis*, *Heterosira appendiculata*). Биомасса зоопланктона изменялась от 1.26-2.91 г/м<sup>3</sup> в Большой Имандре до 0.67-1.0 в Йокостровской и Бабинской Имандре.

В настоящее время профундальный зообентос, также как и в течение всех предыдущих периодов исследования, был представлен

личинками хирономид, малощетинковыми и круглыми червями, двусторчатыми моллюсками, бокоплавами и водными клещами. Всего в зообентосе профундальной зоны было найдено 42 вида и форм беспозвоночных, среди которых по количеству видов (27 видов) доминировали личинки хирономид. По значениям биомассы зообентоса плес Большая Имандра соответствует бета-эвтрофному водоему, плес Йокостровская Имандра – альфа-эвтрофному, а плес Бабинская Имандра – бета – олиготрофному водоему. Среднее значение биомассы зообентоса по площади акватории составляет около 14 г/м<sup>2</sup>, что позволяет в современный период рассматривать оз. Имандра как альфа-эвтрофный водоем. В 1930 г. средние значения биомассы зообентоса были значительно ниже – 1.1-1.4 г/м<sup>2</sup> (Крохин, Семенович, 1940, Дольник, Стальмакова, 1975, Ильяшук, 2002). В 1990-е годы среди групп беспозвоночных доминировали ракообразные, представленные реликтовым бокоплавом *Monoporeia affinis*, причем его численность увеличилась в 2-5 раз по сравнению с периодом пятнадцатилетней давности, что говорит об его устойчивости к загрязнению в отличие от *M. relictata*, которая полностью выпала из состава фауны. По численности и биомассе зоопланктон и зообентос озера могут обеспечить их главных потребителей – ряску, корюшку (планктонофаги) и сига (бентософаги).

В современный период в оз. Имандра обитают 15 видов рыб. Наиболее ценными промысловыми видами являются кумжа, голец, ряпушка, сиг, хотя и другие виды без сомнения играют важную роль в сообществе рыб – это корюшка, налим, гольян, колюшка, ерш. Рыбная часть в результате интенсивной антропогенной нагрузки претерпела существенные изменения. В природном состоянии это был сигово-гольцовый водоем. В настоящее время преобладают только сиговые, значительно сократилась численность гольца и кумжи. В зонах загрязнения у рыб наблюдаются массовые патологии и дисфункции в системах организма.

Озеро Имандра является одним из немногих озер, на котором проводятся многолетние мониторинговые наблюдения, которые осуществляет Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Установлено, что в настоящее время происходит некоторое уменьшение антропогенной нагрузки на озеро в связи с переходом ряда производств на новые технологии, но этот процесс происходит очень

медленно, и качество озерной воды остается по-прежнему неблагоприятным.

### 7.3. ОЗЕРО ВОСТОК

Оз. Восток – крупнейшее подледное озеро в Антарктиде, расположенное в районе антарктической станции Восток (рис. 7.5). Примерные координаты: 76°-78°30' ю.ш.; 106°-110° в.д. Озеро находится под ледяным щитом мощностью 3500-4000 м. Оно занимает обширное понижение земной коры длиной около 300 км, шириной от 40 до 80 км, которое вытянуто в меридиональном направлении и имеет слегка изогнутую, коленчатую, форму. Приблизительная площадь озера 15690 км<sup>2</sup>.

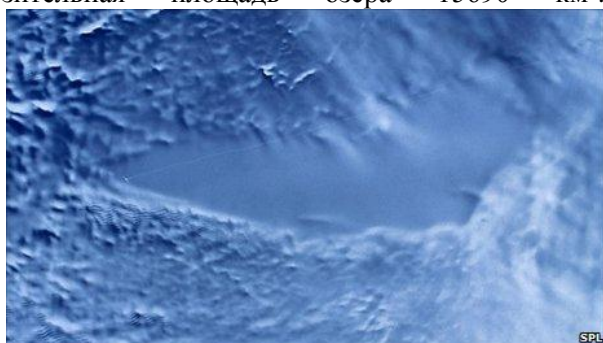


Рис. 7.5. Озеро Восток, снимок NASA/

Согласно оценкам, основанным на результатах сейсмического зондирования, восточный берег озера почти прямолинейный, тогда как западный сильно изрезан, в его юго-западной части имеется бухта округлой формы, вдающаяся в сушу на расстояние примерно 10 км, в северо-западной части, на расстоянии около 170 км от ст. Восток, обнаружена целая система бухт и мысов. На возвышенности западного побережья обнаружены глубокие (более 400 м) и узкие (до 2 км) каньоны. Береговые склоны с обеих сторон озера представляют собой крутые уступы высотой до 1500 м, часто осложняющиеся небольшими ступенями. Такие же уступы замечены и внутри самого озера на сейсмическом профиле, пересекающем самую южную его оконечность. В этой части на дне озера с помощью сейсмических исследований обнаружена осадочная толща мощностью до 200—400 м. Озеро разделено на две части подводным гребнем. Глубина северной части составляет около 400 м, южной — около 800 м; глубина над гребнем порядка 200 м (Котляков, 2004, Таллай, 2005). Две глубоководные зоны,

северная и южная, соединены мелководной перемычкой (рис. 7.6).

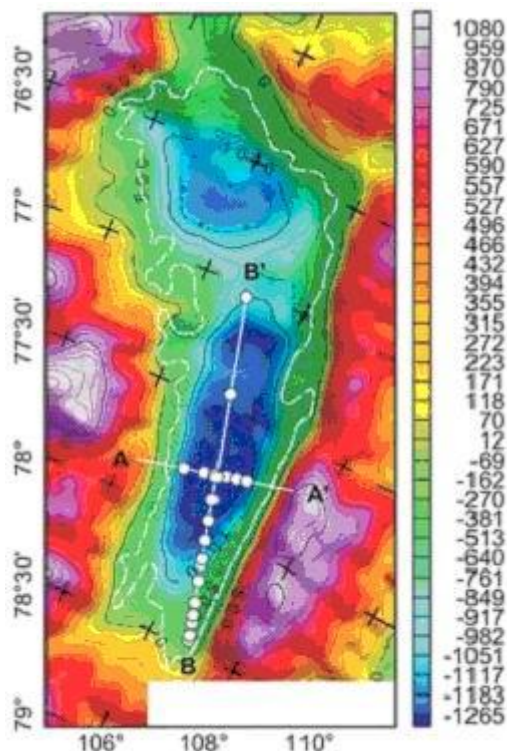


Рис. 7.6. Рельеф дна оз. "Восток" по данным сейсмического зондирования. (источник Талалай, 2005).

Толщина льда в разных частях озера составляет от 3800 м на севере до 4250 м на юге, перепад высот границы раздела составляет около 400 м, тогда как на поверхности ледника перепад высот всего около 40 м. С более высокой северной стороны лёд тает, а с южной — намерзает.

Озерная котловина имеет тектоническое происхождение, ее возраст оценивается приблизительно в 35 млн. лет. Касаясь вероятного сценария происхождения озера, ученые-полярники указывают на наличие под ложем водоема глубинных геологических разломов, пронизывающих всю земную кору вплоть до мантии (Зотиков И.А., 2000). Ширина впадины, занимаемой оз. Восток, значительная амплитуда смещений блоков горных пород, ограничивающих озеро, и их ступенчатая форма, очевидно, связанная с растяжением земной коры, так же как и коленчатая конфигурация и картина развития разломов на западном берегу озера свидетельствуют в пользу того, что озеро расположено в рифтовой зоне. Впадина оз. Восток, расположена в 400 км от продолжения зоны ледника Ламберта параллельно ее основ-

ному направлению, и может представлять собой отдельное звено единой крупной рифтовой системы.

### ***История открытия и научных исследований***

Существование подлёдных озёр в Антарктиде было предсказано ещё в 1960-70-х гг. Однако широкую известность это открытие получило только в 1996 г., после публикации в журнале "Nature" совместной статьи российских и британских полярников об озере Восток (Kapitsa et al., 1996).

Еще в конце XIX в. П.А. Кропоткин (1876), высказал предположение, что в толще больших и холодных сверху ледников температура, так же как и в других горных породах, с глубиной повышается. Исходя из этого положения, в 1950-х гг. океанолог Н. Н. Зубов ввёл понятие критической толщины ледника, при которой, при соответствующем давлении, у его дна достигается температура плавления льда. При этом он признавал тот факт, что толщина реального антарктического покрова в некоторых местах, по результатам обработки сейсмических данных, была гораздо больше критической толщины (Зубов, 1956). Для объяснения этого факта он предположил, что внутри ледяного щита должен существовать изотермический слой, например из смеси воды и льда, толщина которого должна быть равна разнице между измеренной толщиной и расчетным критическим значением. В своих выводах Зубов опирался на предположение, что температура линейно повышается с глубиной. В 1959 г. Капица, используя метод Зубова, сделал предположение о наличии линз воды под толщей воды в Зубовском изотермическом слое, в центральной части ледникового покрова Антарктиды (Капица, 1961).

В 1955 г. английский гляциолог Гордон Робин (Robin, 1955) обнаружил, что температура льда повышается с глубиной от ее среднего многолетнего значения ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) у поверхности до температуры замерзания морской воды ( $1.8^{\circ}\text{C}$ ) у границы «дно ледникового покрова-море». Однако это изменение не было линейным, как считал Зубов. Температура очень медленно повышалась в верхней части шельфового ледника, и стремительно увеличивалась в нижней. Это означало, что тепло переносится вертикально не только благодаря теплопроводности, но и за счет постоянного вертикального движения холодных частиц вниз, к

дну ледника. Толщина льда в этих условиях остается постоянной за счет накопления снега на поверхности, приводящего к постоянному вертикальному конвективному движению холодного льда от поверхности к нижней более теплой части ледникового покрова. Свои расчеты Робин проводил для ледников Гренландии, поэтому, в силу их меньшей мощности, он не учитывал возможность постоянного таяния у дна, необходимого для существования подледниковых озёр.

В 1961 г. И. А. Зотиковым были проведены теплофизические расчёты, основанные на решении уравнения теплопроводности в леднике, рассматриваемом как движущаяся жидкость, был учтён и конвективный перенос холода сверху вниз. Анализируя на основе этих расчетов данные о ледниковом покрове центральной части Антарктиды, полученные в первых экспедициях, Зотиков обосновал возможность таяния на ложе ледника в центральной части Антарктиды. Его расчеты говорили о том, что часть тепла, поступающего к основанию ледникового покрова из недр Земли, постоянно затрачивается на таяние придонного льда, невзирая на царящий на поверхности холод. При этом появляющаяся вода выдавливается на те участки, где толщина льда меньше, и там вновь замерзает (Зотиков, 1962). Но в углублениях подледного ложа она может скапливаться и даже формировать перекрытые километрами льда резервуары воды — озера. Чуть позже Зотиков построил карту-схему областей непрерывного таяния у ложа Антарктического ледникового покрова, согласно которой под ледяным панцирем шестого континента разливается целое море пресной воды. Окрестности же станций «Амундсен— Скотт» (США), «Бэрд» (США) и «Восток» (СССР) он выделил как наиболее перспективные с точки зрения поиска подледных озёр (Зотиков, 1963). Первые реальные подтверждения гипотезы Зотикова были получены в 1968 г. в результате бурения самой глубокой в те годы двухкилометровой скважины на американской ст. Берд. Когда бур достиг дна ледника, в скважину хлынула пресная вода.

В 1959 и 64 гг. сейсмическое зондирование ледникового щита под ст. Восток, проведённое под руководством А. П. Капицы, позволило определить его толщину. При этом оказалось, что помимо главного пика отражения от дна ледника в приёмном сигнале выявлялся ещё



один. Тогда он был интерпретирован как отражение от нижней границы слоя осадочных пород под ледником. Только значительно позже, в 1994 г. была реинтерпретирована сейсмограмма, сейсмика очень четко зафиксировала Р-волну второго отражения и свидетельствовала о наличии слоя воды глубиной более 500 метров под толщей ледникового покрова.

В пользу существования подледного озера говорили и данные, полученные в 1993 г. со спутника ERS-1, орбита которого позволяла провести радарную съемку большей части Антарктиды. Данные были проанализированы английским ученым Д. Ридли. На снимках обозначилась крупная необычная форма рельефа в районе ст. Восток — это на ледниковом щите проступали очертания огромного водоема (рис. 7.5). Статья Ридли (Ridley et al., 1993) и его карта свидетельствовали о наличии предполагаемого озера, имеющего овальную форму. Практически в тоже время в Кембридже было организовано совещание «Геофизическое изучение озера Восток», посвященное обсуждению научных проблем, связанных с существованием озера. Совещание рассмотрело существующий уровень знаний и предложило дальнейшее изучение вопроса, для расширения границ понимания этого «самого удаленного озера Земли» (Зотиков, 2010). В последствие, по результатам организованных Королевским обществом Великобритании и Российской АН совместных англо-российских работ в области интерпретации полученных по озеру данных, вышла статья об озере в журнале Nature, которая и принесла озеру широкую мировую известность. Причем окончательным подтверждением существования озера, позволившем опубликовать данную статью, явились, как раз, результаты реинтерпретации Капицей сейсмограмм, полученных им в 1960-х гг. Эти результаты были доложены Капицей на XXIII заседании СКАР в Риме в 1994 г.

Начиная с 1970-х гг. российскими учеными на ст. Восток ведется бурение льда с целью палеоклиматических исследований. С 1989 г. исследования проводились в рамках совместной экспедиции российских, французских и американских учёных. Начиная с 1975 г. в общей сложности отобрано более 3000 проб; в 89 случаях в них обнаружены микроорганизмы, среди которых имеются представители различных таксонометрических групп: прокариоты - неспорообразующие и спорообразующие бактерии и актиномицеты;

эукариоты - дрожжи и мицелиальные грибы (Талалай П., 2005). После подтверждения на XXIII заседании СКАР возможности существования озера Восток, российскими учеными в лице Котлякова было привлечено внимание всех делегатов СКАР от других стран к феномену озера и к программе бурения ледяного керна на станции Восток. К этому времени глубина скважины составляла более 2500 м при общей толщине льда 3750 м. В результате делегаты СКАР рекомендовали проводить бурение ледяного керна до глубины при которой не будет нарушена экологическая чистота озера и не проводить его ниже этой отметки до тех пор, пока не будет проведено углубленное научное изучение этого вопроса и оценка бурения на окружающую среду.

Начиная с глубины 3538 м, химический и изотопный состав льда и его кристаллографическая структура существенно изменились — оказалось, что этот лёд представляет собой замороженную воду. На кернах, вынутых с глубины 3538-3607 м, были видны инородные включения миллиметрового размера, которые могли бы принадлежать ложу ледникового покрова. Также в кернах содержались очень большие кристаллы льда, а его электропроводность была на два порядка ниже электропроводности предыдущих слоев (Зотиков, 2010). В результате изучения изотопного состава, измерений электропроводности и содержания газов во льду стало ясно, что самые нижние слои (3538-3539 м) состоят из льда, образовавшегося при замерзании воды оз. Восток (Jouzel et al., 1999). Считается, что 70-метровый слой (3538-3609 м), в котором видны посторонние частицы, замерз в условиях турбулентного перемешивания воды озера (Wuest and Carmack, 2000). В 1998 г. при глубине скважины 3623 м бурение было временно приостановлено, чтобы не допустить загрязнения воды, которое может повредить его уникальной экосистеме. Образцы льда с этой глубины имели возраст около 420 тыс. лет, поэтому предполагается, что озеро было закупорено льдом не менее 500 тыс. лет назад.

В рамках 52-ой Российской антарктической экспедиции 2006-07 гг. бурение было возобновлено. Согласно подписанному между Россией и США специальному соглашению оно проводилось в рамках программы с дальнейшим совместным использованием ледяного керна для научного изучения. За первое южно-полярное лето (февраль 2006 г.) были пройдены

еще 27 м скважины, и ее глубина была увеличена с 3623 до 3650 м. При каждом бурении, занимавшем около 6 часов, на поверхность поднималось около 1.6 м керна (Зотиков, 2010). Однако, с 2006 г. бурение скважины российскими специалистами начало вызывать неодобрение международного научного сообщества в связи с недоверием к экологической чистоте российского проекта. Несмотря на недоверие, в следующее лето (декабрь 2006 – январь 2007 гг.), буровые работы были возобновлены. Было пройдено еще 10 метров, но при достижении глубины 3658 м буровой снаряд застрял в скважине, и его извлечение потребовало массы времени и усилий. После ликвидации последствий аварии со снарядом было пройдено еще 9 метров, и скважина достигла глубины 3666 м. При проведении работ стало ясно, что для дальнейшего бурения необходима смена оборудования, прежде всего замена на буровой установке кабель-троса. Этот трос уже доставлен в Антарктиду и должен быть заменен в 2010 г. Кроме необходимости замены троса возникли новые сложности во время буровых работ 2008 г., производимых с использованием старого оборудования. Бур опять застрял, но в этот раз извлечь его не удалось, пришлось делать ответвление на глубине 100 м от брошенного бура, и было начато бурение новой скважины, которая достигла горизонта, где был брошен старый бур, но в стороне от него (Зотиков, 2010). К сожалению, возникшие трудности отняли много времени и изначальные планы по достижению поверхности озера в рамках Международного полярного года в сезоне 2008-09 гг. оказались сильно сдвинуты по времени. По состоянию на начало 2011 года скважина еще не достигла поверхности озера. В феврале месяце, по случаю окончания полярного лета, она была законсервирована, и буровой снаряд был остановлен на отметке 3720 м. Буровые операции в скважине планируется возобновить во второй половине декабря 2011 г. по программе работ 57-й Российской антарктической экспедиции (Озеро Восток..., 2011).

Забор озерной воды пока не произведен, хоть, по мнению российских специалистов (Зотиков, 2010), он может произойти в самое ближайшее время, во всяком случае, все технические возможности для этого на сегодняшний день существуют. Однако, необходимо иметь в виду, что мировое научное сообщество, прежде всего

в лице ASOS (Antarctic and South Ocean Coalition), продолжает всячески противодействовать дальнейшему бурению российской стороной, считая российский проект недостаточно экологически чистым. С соответствующими заявлениями ASOS неоднократно обращалась к России, в том числе к делегатам Государственной Думы (Appeal..., 2008).

Технология продолжения работ по проникновению в водный слой подледникового озера Восток будет строго соответствовать принципам, изложенным в «Заключительной Всесторонней ОВОС на отбор проб поверхностных вод из озера Восток», на которую 23 ноября 2010 года Российская антарктическая экспедиция получила Разрешение № 067 от уполномоченного Правительством РФ органа федеральной исполнительной власти. Отчёт о проделанной работе будет подготовлен исполнителями по возвращении в Санкт-Петербург и в дальнейшем представлен делегацией Российской Федерации на заседании XXXIV Консультативного совещания по Договору об Антарктике, которое пройдет в Буэнос-Айресе с 20 июня по 1 июля 2011 года (Озеро Восток..., 2011).

### *Основные биологические особенности*

Оз. Восток на протяжении сотен тысяч лет находится в изоляции от земной биосферы, отрезанное от нее четырехкилометровой ледяной толщей. Однако, согласно гипотезам, озеро может содержать живые организмы, сохранившиеся с древнейших времен. В пользу этой гипотезы говорят следующие факторы: В озере чистейшая пресная вода, содержащая кислород, поступающий в нее при таянии пограничных слоев льда. Из-за постоянного подледникового таяния к нижней поверхности ледника попадают не только свежая пресная вода, но и пыльца, и другие органические вещества, принесенные на ледник вместе с атмосферными осадками. Недавние исследования показали, что в результате действия приливных сил, поверхность вода-лёд колеблется с амплитудой 1—2 см. Это явление вызывает перемешивание воды и может быть существенным для выживания микроорганизмов. Термические условия в разных частях озера неодинаковы, и это вызывает внутренние течения и активный энергообмен. У дна температура может составлять до 10°C и может быть более, благодаря деятельности подземных геотермальных источников. Несмотря на то, что давление воды, со-

гласно расчетам, более 300 атмосфер, микроорганизмы могут приспособиться к таким условиям.

В пользу возможности существования жизни в озере свидетельствуют результаты ледникового бурения, проводившиеся российскими специалистами и свидетельствующие о наличии микроорганизмов во льду на больших глубинах. В намерзшем льду был обнаружен ряд микробов, но их разнообразие было невелико, и их ДНК оказалось тем же, что и у современных особей (Priscu et al., 1999). Вместе с тем, поскольку бурение льда производилось не для биологических целей, то большую и до конца не решенную проблему представляет его полная биодеконтаминация (Priscu et al., 2005), включая полное удаление следов жидкости для бурения, которая сама по себе представляет среду, пригодную для существования микроорганизмов. Так что остается вероятность, что обнаруживаемые микробы можно объяснить загрязнением вследствие воздействия буровой жидкости и атмосферного воздуха при работе с керном. Биологическое изучение намерзшего льда на молекулярном уровне также дает некоторые основания для предположения об очень малом количестве в нем микробов (Bulat et al., 2001). Между тем, в ледниковом и в намерзшем льду обнаружено несколько вирусов с различной и необычной морфологией, происхождение которых в настоящее время неизвестно и изучается. Существует предположение, что микробы, обнаруженные в намерзшем льду, мигрировали через лед и попали в поверхностные воды озера с талой водой, в то время, когда лед таял, однако быстро заморзли (Siegert et al., 2003). В некоторых биологических исследованиях на глубинах около 3500 был обнаружен бактериальный штамм, ДНК которого подобна ДНК термофильных бактерий (Bulat et al., 2001). Термофильные бактерии, по всей видимости, обитают не в самой воде озера, а в его основании. Было предположено, что они могут жить в относительно теплых (40–60°C на глубине 2–3 км) анаэробных осадочных породах, богатых диоксидом углерода и водородом, в глубоких разломах на дне или окрестностях озера и выбрасываться/выноситься в мелководный залив озера в результате сейсмотектонической активности, периодически происходящей в районе озера Восток (Буллат и др., 2007).

В силу крайне низкой клеточной биомассы, обнаруживаемой во льду озера Восток с ис-

пользованием различных методов, или ее практического отсутствия, делать четких выводов о наличии в озере жизни пока рано. Однако, на сегодняшний день, незадолго до проникновения в озеро, многие ученые имеют большие ожидания, что уже первые пробы воды позволят обнаружить в озере бактерии, возраст которых колеблется в районе 500 тыс. лет. Так как пробы льда, взятые над озером, отличаются очень низким содержанием растворенного углерода (Буллат и др., 2007) для озера должна быть характерна субгляциальная экосистема, характеризующаяся крайне высокой степенью олиготрофности. Окисленные соединения азота (нитраты, нитриты) не выявлены, а восстановленные (аммоний) если и выявляются, то представляют источник загрязнения.

Согласно мнению Талалай (2005), если жизнь в глубинах озера и есть, то образовать экосистему она может только при наличии притока энергии в химической форме (восстановленного неорганического субстрата), достаточных для нефотосинтезирующего синтеза органического вещества, то есть начальными звеньями пищевых цепей экосистемы должны быть хемосинтезирующие организмы. К аналогичным выводам приходят и Булат и др. (2007). Температура всего слоя озерного льда не превышает  $-7^{\circ}\text{C}$ , что находится в пределах так называемой физиологической температуры, при которой экспериментально показан факт метаболической активности бактерий (Alekhina et al., 2007). Возможные редокс-пары, которые могут поддерживать хемолитоавтотрофную жизнь, ограничены водородом как единственно возможным восстановителем и, с другой стороны, сульфатами и диоксидом углерода как акцепторами электронов и источником углерода (Буллат и др., 2007). На основе этих представлений, современные предположения о микробной жизни в озере включают следующие положения: в озере возможно обнаружение хемоавтотрофных пьезофильных психрофил. Бактерии в озерном льду должны быть анаэробными, тогда как в воде озера – «оксигенофильными» или аэробными. В обоих случаях микроорганизмы должны быть хемоавтотрофами по способу получения энергии и психрофильными и пьезофильными по физиологии. (Буллат и др. 2007).

Открытие озера Восток расценивается как последнее крупнейшее географическое открытие минувшего века.

## Глава 8. ОЗЕРА, КОТОРЫЕ МЫ ПОТЕРЯЛИ

На протяжении XX века широкомасштабный разбор воды на хозяйственные нужды, и, прежде всего, на нужды сельского хозяйства, привел к значительным сокращениям озерного фонда, который согласно приблизительным оценкам, уменьшился на 100 тыс. км<sup>2</sup> (Измайлова, 2010). Основными составляющими этой величины являются потерянные водные площади таких когда-то крупнейших озер как Аральское море (до 1960-х гг. четвертое по площади озеро мира) и оз. Чад (до 1960-х гг. четвертое по площади озеро Африканского континента), их площади водного зеркала сократилась на 50 и 25 тыс. км<sup>2</sup>, соответственно. Когда-то огромное Аральское море распалось к сегодняшнему дню на несколько остаточных водоемов, среди которых наиболее приемлемое экологическое состояние сохраняет лишь Малый Арал (3.3 тыс. км<sup>2</sup>). Большой Арал, отделившийся в 1988-89 гг. от некогда единого водоема, быстро мелел и осолонялся; сначала он распался на Восточный и Западный Арал, а затем, в 2006 г. от Восточного Большого Арала отделился залив Тшебас. На сегодняшний день суммарная площадь всех водоемов, оставшихся на месте Большого Арала составляет около 14 тыс. км<sup>2</sup>. Усыхание Аральского моря является одной из крупнейших экологических катастроф XX века. По мнению ряда специалистов, без принятия соответствующих мер существует большая вероятность полного исчезновения Большого Арала уже к 2020 году.

В обширное болото превратилось за последние пол столетия и оз. Чад. На сегодняшний день его площадь в сухой сезон не превышает 1 тыс. км<sup>2</sup>, только в сезон дождей озеро еще существует как мелководный водоем с площадью зеркала до 5 тыс км<sup>2</sup> и глубинами около 1.5 м; области открытой воды сохранились лишь в его южной части, близ устья р. Шари. Поскольку современные водные требования в бассейне оз. Чад очень высоки, восстановление озера в прежнем объеме без дополнительных масштабных перебросок стока становится практически невозможным даже при благоприятных климатических условиях. В этой связи для спасения оз. Чад и обеспечения водопользования в его бассейне был предложен план переброски в него вод р. Убанга (бассейн р. Конго) по р. Шари. Реализация проекта

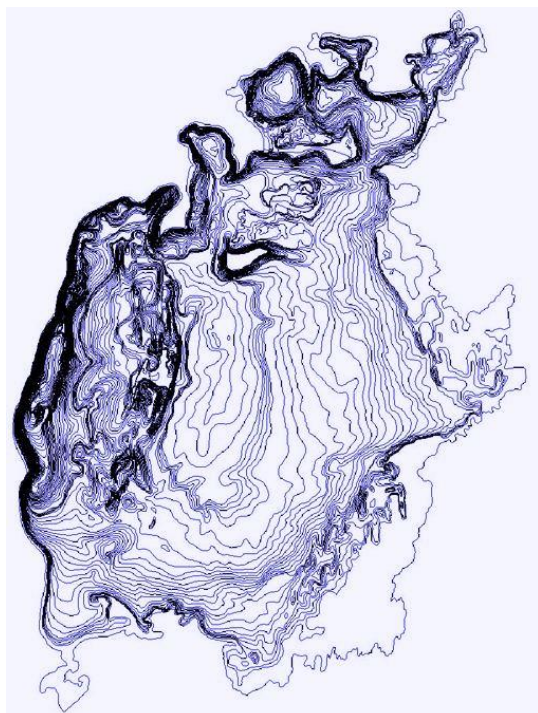
может обеспечить годовой сток по р. Шари объемом от 40 до 100 км<sup>3</sup>, что позволит не только восстановить озеро в прежних границах, но и обеспечит требования всех водопользователей, в том числе и сельское хозяйство региона.

### 8.1. АРАЛ ИЛИ АРАЛЬСКОЕ МОРЕ

Арал или Аральское море - огромное бессточное соленое озеро, расположенное в аридной зоне, в северо-западной части Средней Азии на границе Казахстана и Узбекистана. Еще в середине XX в. оно являлось четвертым по площади водной поверхности континентальным водоемом Земли. Морем его называли благодаря огромным размерам и режиму, сходному с морским. До середины XX в. Аральское море располагалось между 43°17' и 46°43'с.ш. и 58°15' и 61°51'в.д. При уровне воды 53.4 м его площадь составляла 67499 км<sup>2</sup>, объем заключенной воды - 1089 км<sup>3</sup>, средняя глубина была 16.1 м, а максимальная - 69 м (Аладин и др., 2006). Площадь Большого моря составляла 61381 км<sup>2</sup> при объеме 1007 км<sup>3</sup>, на долю Малого моря приходилось 6118 км<sup>2</sup> и 82 км<sup>3</sup> соответственно. С начала 1960-х гг. из-за чрезмерного водозабора на орошение, происходящего из основных питающих его рек - Амударьи и Сырдарьи, Аральское море стало ускоряющимися темпами мелеть, в результате чего за 50 лет его площадь сократилась более чем на 55 тыс. км<sup>2</sup>. К началу XXI в. от единого озера осталась лишь серия остаточных водоемов (рис. 8.1). Усыхание Аральского моря является одной из крупнейших экологических и самой крупной лимнологической катастрофой XX века. Происходивший на глазах одного поколения процесс опустынивания по своим масштабам и интенсивности не имеет аналогов в мировой практике и последствия его еще плохо изучены.

Геологически Аральское море сравнительно молодо, его возраст оценивается около 140 тыс. лет (Аширбеков, Зонн, 2003). Занимаемая морем котловина обязана своим существованием мощным тектоническим процессам, происходившим в Центральной Азии еще в неогеновый период. Кроме того, на ее формировании сказались также дефляционные и водно-эрозионные процессы (Рощенко, 2010). Котловина состоит из нескольких меньших котловин следующего порядка разной площади и глубины: наиболее глубокой Западной и более мелкой

Восточной части Большого моря и трех менее глубоких впадин Малого моря. По мере падения уровня эти части и стали котловинами тех водоемов, на которые распалось Аральское море. При отметке 39 м море разделилось на Большой и Малый Арал, а при отметке 29 м Большой Арал, в свою очередь, распался на Восточную и Западную части.



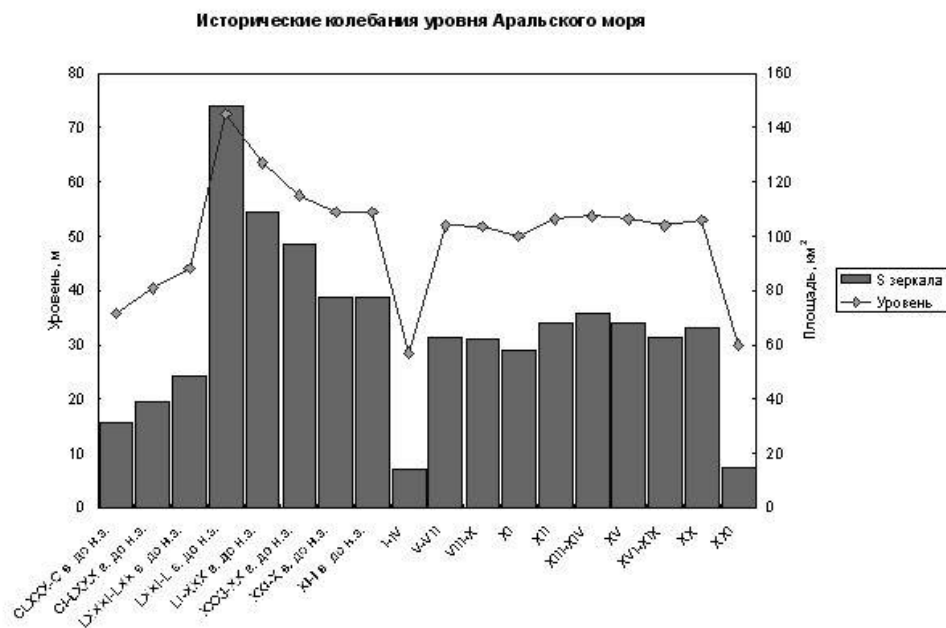
**Рис. 8.1.** Аральское море, (а) - батиметрическая карта моря до усыхания, источник: Проект ИНТАС-0511 REBASOWS; (б) - спутниковая съемка, август 2010 г. Фото NASA.

### *Исторический очерк*

В четвертичное время гидрографическая сеть Центральной Азии претерпевала значительные изменения, связанные с миграцией русел основных рек, протекающих по данному региону. Так, р. Амударья оканчивала свое течение попеременно то в Сарыкамышской, то в Аральской котловине. В ряд периодов сток обеих основных рек, и Амударьи, и Сырдарьи, не достигал Аральского моря, в результате чего оно начинало быстро мелеть и на его территории образовывалась пустынная местность. Во время усыхания моря минерализация воды резко поднималась, способствуя выпадению солей (Кесь, 1983). Около 4 тыс. лет назад р. Амударья вновь изменила свое течение, повернув от Сарыкамышской впадины на север в сторону Аральского моря, питаемого к этому времени стоком р. Сырдарья. В результате этого поворота произошло последнее обводнение Арала. Уже в историческую эпоху наблюдались существенные колебания уровня Аральского моря, на его отступившем дне были обнаружены остатки саксаулов и древних строений, в том числе средневекового мавзолея (Кедери), а также останки небольшого кладбища.

Вопросам истории изменения уровня Арала посвящено множество работ (Абрамова, 1979, Андрианов, 1980, 1991, Вейнбергс и др., 1979, История озер ..., 1991, Квасов, 1980, Кесь 1983, 1991, Маев и др., 1983, Мамедов, Трофимов, 1986, Рубанов, 1980, 1987 Трофимов, 2006, Федоров, 1983, Хрусталева, Резников, 1976, Шнитников, 1983 и др.). Авторы этих работ на основе геологических и исторических изысканий восстанавливают различные этапы расширения и обмеления Арала. Шнитников (1983) утверждает, что Арал на протяжении своей истории претерпел пять или семь крупных трансгрессий, наиболее мощным из которых принадлежат наиболее высокие террасы, относящиеся к раннему плиоцену или к акчагылу. Согласно выводам Кесь (1991), первый этап обводнения Арала происходил в позднем плиоцене, когда западные равнины Средней Азии были затоплены водами обширного акчагыльского, а затем апшеронского моря. Современный этап, по ее мнению, начался приблизительно за 2 тысячи лет до н. э., с поворота р. Амударьи от Сарыкамышской впадины на север. Подробную схему ретроспективной истории колебаний уровня Аральского моря за последние 100 тыс. лет воспроизвел





**Рис. 8.2.** Исторические колебания уровня Аральского моря, по данным Трофимов, 2006.

Трофимов (2006), обобщив полученные ранее данные ряда авторов. Эта схема приведена на рис. 8.2.

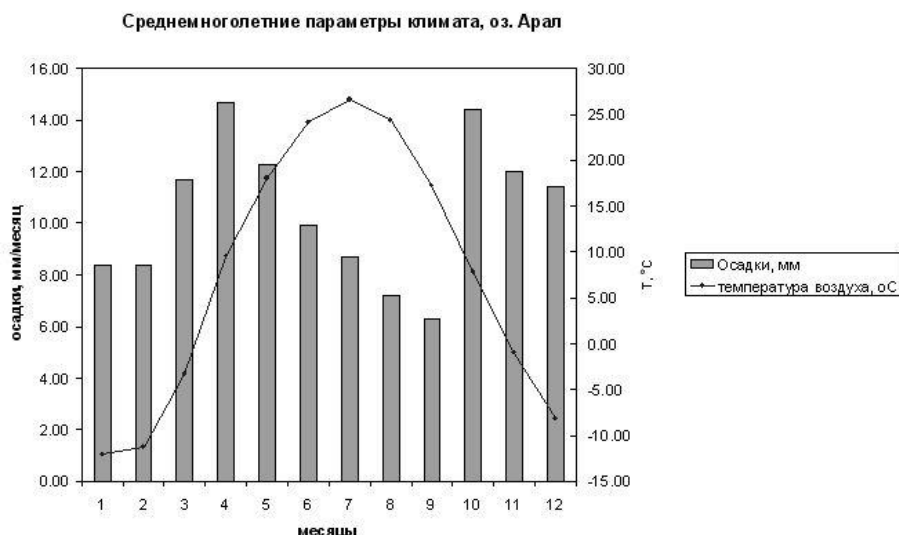
Несмотря на различные мнения, расхождения в датировках и причинности происходивших процессов, практически все авторы, занимавшиеся историей Аральского региона, приходят к общему выводу о том, что в доисторические времена изменения уровня воды и солёности Арала фактически полностью определялись изменениями естественного климата. В течение влажной климатической фазы реки Сырдарья и Амударья были многоводны, и озеро достигало максимального уровня 72-73 м., в фазы засушливого климата обе реки становились маловодными, уровень Арала падал, и росла степень засоления Приаралья. В историческое время, с момента образования древнего Хорезмского государства, на изменения режима питающих озеро рек наряду с естественными причинами начинает оказывать воздействие деятельность человека - создание защитных дамб в периоды расцвета местных цивилизаций и их разрушение в периоды захвата региона. Кроме того, в периоды расцвета цивилизаций происходило увеличение площадей орошения, вызывающее рост водозабора. В неблагоприятные для региона периоды (войны, захват территории т. д.) орошаемые земли сокращались, а реки, питающие Арал, опять наполнялись водой

(Духовный, Шуттер, 2003). Амплитуда колебаний уровня Аральского моря в исторический период (за последние 4-6 тысяч лет) согласно геологическим, геоморфологическим и археологическим данным составила более 20 м (Рубанов, 1987).

### **Климат**

Аральское море расположено на севере зоны континентального аридного субтропического климата в сфере деятельности зимнего Сибирского антициклона и летней Южно-Азиатской барической депрессии, определяющих основную барическую обстановку в этом районе. Температура воздуха увеличивается с севера на юг, вслед за солнечной радиацией. Для региона типична большая амплитуда суточных и сезонных температур, средние годовые амплитуды составляют 33-36°C, наибольшие – до 85°C. Зимой в регион легко проникают холодные воздушные массы из Сибири, так что средняя температура января составляет на севере – (-12°C), на юге – (-6°C), минимальные зимние температуры – (-38°C) (рис. 8.3). Весной отрог Сибирского антициклона разрушается, и окружающие Арал пространства оказываются под воздействием Южно-Азиатского минимума. Лето продолжительное, жаркое и сухое, средние температуры июля - 26°C и 30°C, максимальные - 45-50°C (Гидрометеорология ..., 1990).





**Рис. 8.3.** Среднемесячные климатические параметры Аральского моря, ст. Аральск.

Закрытое расположение Центральной Азии в Евро-Азиатском континенте определяет малое количество осадков и их неравномерное распределение в течение года. Общая сумма годовых осадков составляет в низинной части бассейна 80-200 мм в год с максимумом, приходящимся на зимне-весенний период и вторым подъемом осенью (октябрь-ноябрь). В предгорьях выпадает 300-400 мм осадков, а на южной и юго-западной стороне горных цепей - 600-800 мм.

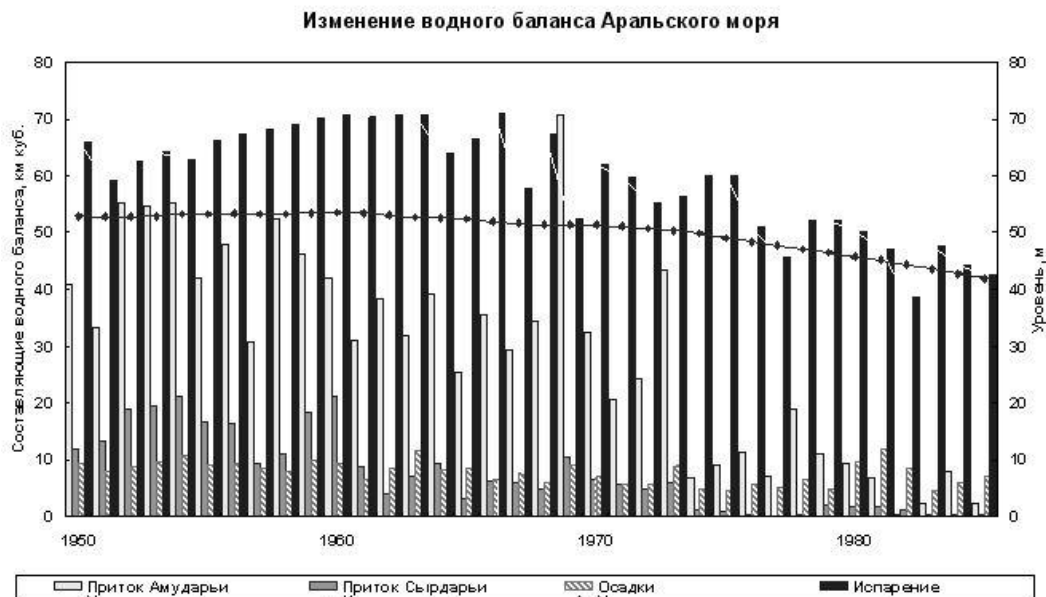
### **Характеристики водного баланса**

Бассейн Аральского моря представляет собой замкнутый бессточный регион, который питается стоком рек Амударья и Сырдарья, причем бас. р. Амударья превышает бас. р. Сырдарья почти в два раза. Весь бассейн может быть разделен на две основные зоны: горную, в которой формируется весь сток, и равнинную транзитную зону, протекая по которой сток частично рассеивается (теряется на испарение, фильтрацию и изымается на орошение и др. хозяйственные нужды). Расположенная на востоке и юго-востоке горная часть бассейна охватывает высокогорные хребты Тянь-Шаня и Памира. Зона транзита стока включает на западе и северо-западе Туранскую равнину, покрытую пустынями Кара-Кум и Кызыл-Кум, а также аллювиальные и межгорные долины, сухую и полусухую степи.

Среднемесячные водные ресурсы бассейна р. Амударья оцениваются в 75 км куб., а р. Сырдарья - в 37 км куб. или в сумме - 112 км

куб (Михайлов, 1999). Колебания их годовых величин довольно существенны ( $C_v = 0.15$  и  $0.21$ , соответственно) и характеризуются значительной синхронностью ( $R = 0.83$ ). Источниками питания и Амударья, и Сырдарья являются преимущественно талые воды сезонных снегов и ледников, расположенных в высокогорной части бассейна. В своем среднем течении р. Амударья получает сток рек Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад и Кундуз, тогда как Сырдарья, выйдя за пределы высокогорья, добывает еще около 25% от общей величины своего стока. Спустившись на равнину, Амударья и Сырдарья даже в естественном состоянии теряли около половины своего стока, так что Аральского моря до середины XX в. достигала лишь 50-60 км<sup>3</sup> воды, или в среднем 56 км<sup>3</sup>. Причем на долю Амударья приходилось 46, а на долю Сырдарья 10 км<sup>3</sup>. В результате хозяйственной деятельности эта величина катастрофически сократилась, прежде всего, за счет разбора стока на орошение, и уже в конце XX в. до озера дотекало в общей сумме лишь около 5 км<sup>3</sup> воды.

Приходная часть водного баланса Аральского моря складывается из речного притока (Амударья и Сырдарья), осадков, выпадающих на поверхность моря, и составлявших до начала усыхания около 8.6 км<sup>3</sup> в год (Шнитников, 1957), а также притока подземных вод, объем которого оценивался в 1.3-3.4 км<sup>3</sup>/год (Гидрометеорология ..., 1990). Расходная часть состоит практически только из испарения с водной поверхности, составлявшего до начала усыхания



**Рис. 8.4.** Водный баланс Аральского моря до его разделения, данные из опубликованных материалов проекта ИНТАС-0511 REBASOWS.

ния  $64.5 \text{ км}^3$  (Шнитников, 1957). В естественных условиях доля притока в приходной части баланса (чуть менее 90%) была существенно выше, чем доля осадков на его поверхность (рис. 8.4).

В естественных условиях для речного притока были характерны значительные внутригодовые колебания, его максимум приходился на весну и начало лета.

#### *Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне*

Бассейн Аральского моря имеет площадь около  $1.55 \text{ млн. км}^2$  и охватывает всю территорию Таджикистана, Узбекистана, большую часть Туркменистана, три области Кыргызской Республики (Ош, Джалалабад, Нарын), две области на юге Казахстана (Кзыл-Орда и Южный Казахстан) и северную часть Афганистана и Ирана. Около  $0.59 \text{ млн. км}^2$  земель пригодны для сельскохозяйственного использования, около  $0.1 \text{ млн км}^2$  обрабатываются и около  $0.08 \text{ млн км}^2$  орошаются. Половина фактически обрабатываемых земель находится в оазисах (они естественно дренируются и имеют плодородные почвы), другая половина требует для использования проведения комплекса сложных и дорогостоящих мелиорационных мероприятий, включающих

не только дренаж и выравнивание, но также улучшения структуры почв.

В силу крайней аридности климата сельское хозяйство региона исторически существует преимущественно за счет орошения. Начало активного орошаемого земледелия прослеживается с VI-VII вв. до н.э. и совпадает с наивысшим расцветом древнейших цивилизаций, где орошение являлось основным решающим фактором исторического и социально-экономического развития. К началу XX в. общая площадь орошаемых земель бассейна Аральского моря составляла  $3246 \text{ тыс. га}$  (1913 г.). В 1930-е гг. началось масштабное строительство оросительных каналов, которое особенно интенсифицировалось в начале 1960-х. До 1960 г отбор воды на все нужды региона постепенно возрастал, но не превышал  $63 \text{ км куб.}$ , в том числе  $29-42 \text{ км}^3$  воды изымалось безвозвратно, доля водозабора на орошение составляла около 90 %. К 1965 г. площади орошаемых земель увеличились до  $5129 \text{ тыс. га}$ , а к 1985 – до  $6895 \text{ тыс. га}$ . Население региона с 1960 по 1995 гг. выросло с 14 до 36 млн. человек, как результат требования на воду в народном хозяйстве возросли в 2 раза. К середине 1980-х гг суммарный водозабор составил порядка  $95.0 \text{ км}^3$ , а к 1990 г. – около  $120 \text{ км}^3$ . Огромные темпы роста водозабора были вызваны не только ростом орошаемых площадей и численности населения, но и

увеличением интенсивности самого орошения, а также недостаточными мерами по борьбе с потерями воды. В зоне Каракумского канала на уровень 1970 г. на 1 га орошаемой земли расходовалось 25000, а в среднем и нижнем течении Амударьи – 27 000 м<sup>3</sup>/воды в год. На фильтрацию и испарение Каракумского канала ежегодно терялось 2.8 км<sup>3</sup> воды, и в Сарыкамышскую котловину ежегодно сбрасывалось около 3 км<sup>3</sup> (Аламанов и др., 2006).

В начале 1990-х гг. в связи с кризисом, явившимся результатом распада бывшего СССР наблюдалась тенденция к снижению водозабора, примерно на 10%, всеми республиками бассейна Аральского моря кроме Республики Узбекистан. Несмотря на это уровень Аральского моря продолжал снижаться.

### *Аральское море до начала усыхания*

С начала систематических наблюдений в XIX веке и до середины XX в. уровень Арала менялся в небольших пределах. В первой половине XIX в. он стоял достаточно низко, в 1845 г. и после 1860-х гг. были отмечены некоторое его повышения. Затем, к началу 1880-х гг. уровень опять сильно снизился, так что некоторые исследователи даже пришли к выводу о прогрессивном уменьшении воды в Средней Азии. С 1880-х гг. вплоть до 1906 г. происходило повышение уровня Арала, сначала — довольно медленное, а затем более быстрое. С 1907 по 1917 год наблюдалась череда лет различной водности, сменившаяся сначала понижением, а затем, после 1924 г. новым повышением стока. В целом, с конца XIX по середину XX в. уровень Аральского моря колебался около отметки 53 м, с амплитудой, составлявшей около 3 м (Духовный, Шуттер, 2003). Площадь его водной поверхности составляла от 65 до 67 тыс. км<sup>2</sup>, объем заключенной воды – 1040-1090 км<sup>3</sup>. На озере было свыше 1000 островов, среди которых наиболее крупные – Барсакельмес, Кокарал, Лазарева и Возрождения. На юге располагался Акпеткинский архипелаг, представляющий собой подтопленные морскими водами песчаные дюны пустыни Кызылкум.

Берега Аральского моря существенно различались между собой: вдоль западного берега тянулось плато Устюрт, круто спускающееся к озеру обрывами до 250 м высоты, северный берег также был достаточно высоким, тогда как восточный и южный – низменными. Большую

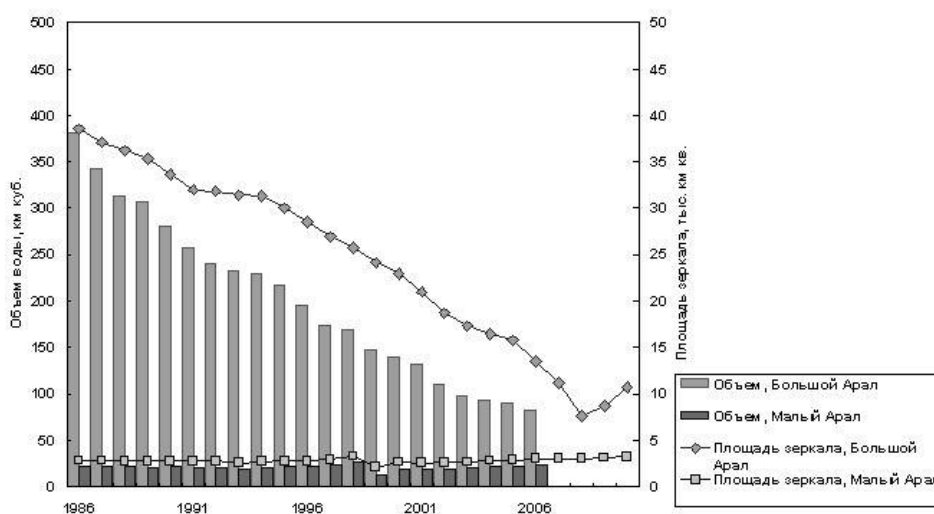
часть южного берега занимала обширная дельта р. Амударьи. Островом Кокарал Аральское море разделялось на 2 неравновеликие акватории: меньшую северную – Малый Арал и большую южную – Большой Арал, соединявшиеся двумя проливами. На западе – узким и мелководным (до 2 м) проливом Аузы-Кокарал, а на востоке – широким и глубоким (до 13 м) проливом Берга. В Малом Арале свои котловины занимала основная акватория и несколько заливов. Большой Арал подразделялся на глубоководную западную часть, обширный восточный бассейн и залив Тщebas в северо-западном углу (Аладин и др., 2005).

### *История усыхания*

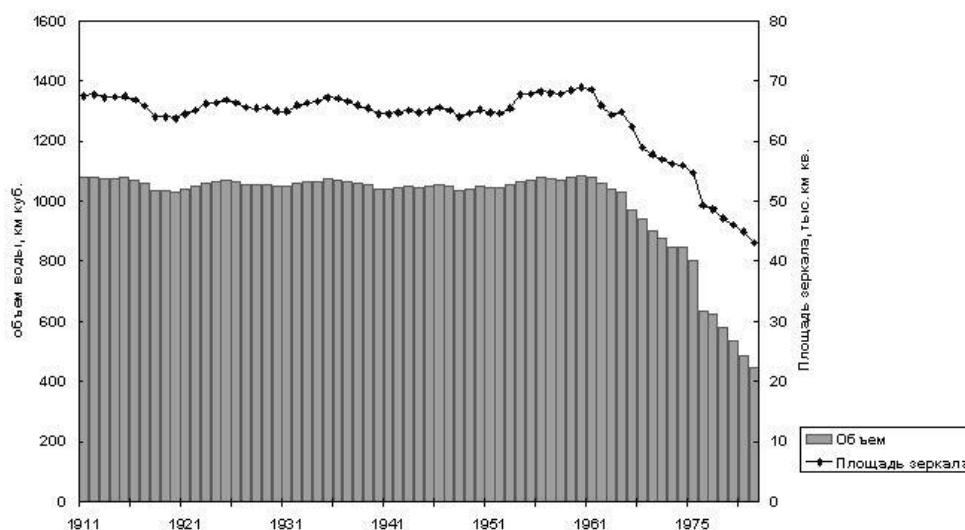
После активного расширения орошаемых площадей, начавшегося в 1960-е гг., водный баланс Арала был практически полностью изменен в связи с многократным увеличением объемов водозабора. Уже в 1960-е гг. сток питающих озера рек снижается до 43 км<sup>3</sup> в год (исключая аномально многоводный 1969 г.), и водный баланс озера становится отрицательным. Начинается вначале медленное, а затем катастрофически ускоряющееся падение его уровня, сопровождаемое ростом солености. В 1960-е гг. падение составляло в среднем 0.2 м в год., и к концу десятилетия уровень опустился до отметки 51.5 м. В 1970-е гг., когда совместный приток воды в озеро сократился до 16.7 км<sup>3</sup>, падение уровня составило уже 0.5-0.6 м. В результате к концу 1970 гг. уровень воды упал до отметки 47 м, площадь озера сократилась до 52 тыс. км<sup>2</sup>, а объем до 644 км<sup>3</sup> (Аширбеков, Зонн, 2003) (рис. 8.5). В 1977—1978 гг. соленость воды в озере поднялась до значений, при которых быстро и почти одновременно исчезла вся рыба, кроме акклиматизированной камбалы.

1980-е гг. оказались крайне засушливыми, так что в результате аномального маловодья и наложившегося на него увеличения водозабора, реки Амударьи и Сырдарьи в 1982, 1983 и 1985 гг. перестали дотекать до озера (Бортник и Чистяева 1990). Среднее снижение уровня воды Арала составило в 1980-е гг. уже 0.8 м в год. В результате к 1987 г. он упал до отметки +40.3 м абс., площадь озера сократилась на 40% до 41.1 тыс. км<sup>2</sup>, а его объем уменьшился на 2/3 до 401 км<sup>3</sup> (Аладин, Плотников, 2008). Соединявший северный и южный Арал пролив Берга пересох, и за 1988-1989 гг. Аральское море распалось на два новых водоема с разным гидрологическим режимом: северный Малый Арал, питаемый

**Изменение площади зеркала и объема воды Большого и Малого Арала**



**Изменение площади зеркала и объема воды в Аральском море**



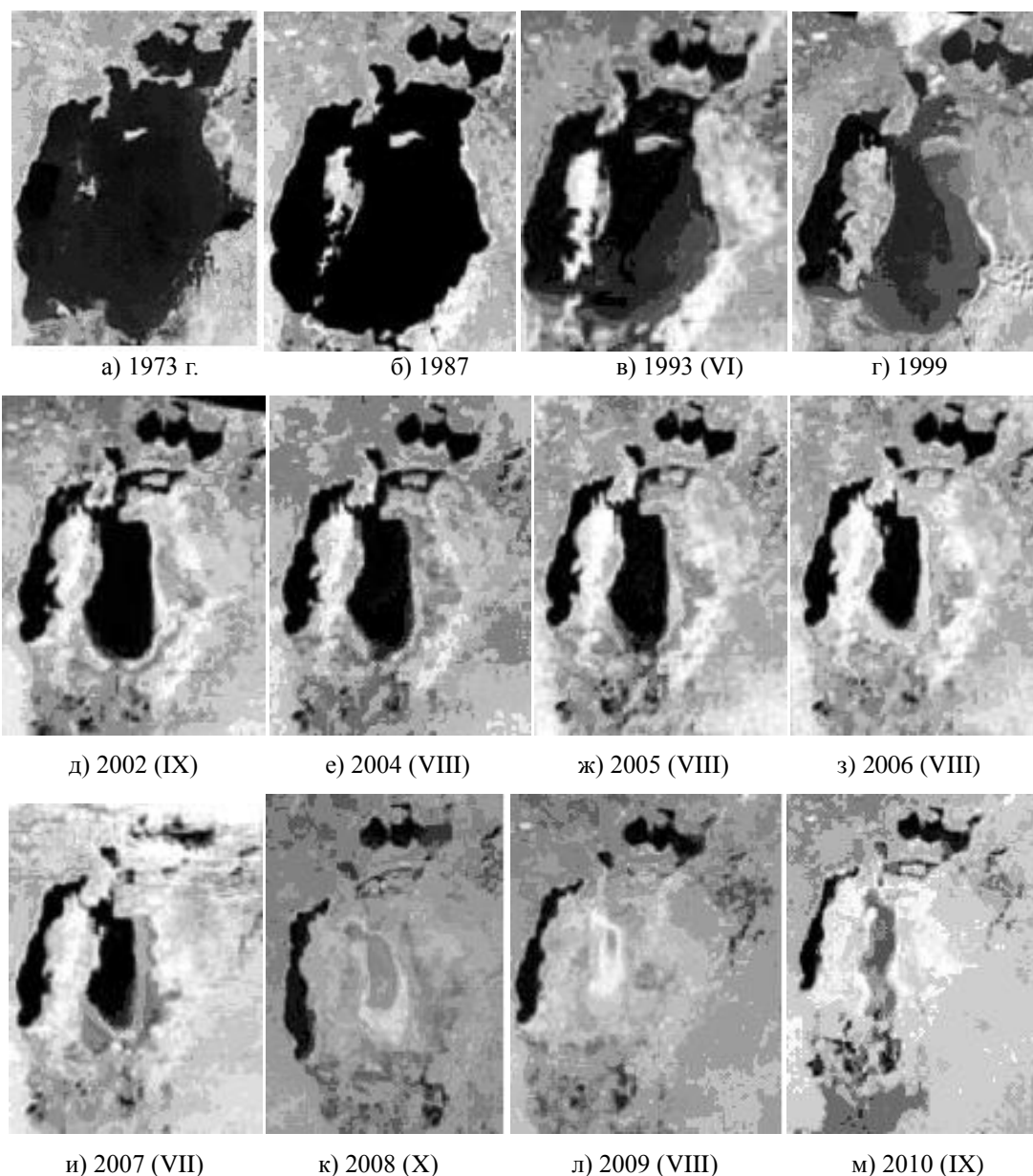
**Рис. 8.5.** Изменение площади и объема Аральского моря по мере обмеления, данные из опубликованных материалов проекта ИНТАС-0511 REBASOWS, и ИЦ ОМЗ

водами Сырдарьи и южный Большой Арал. Площадь Большого Арала при его отделении в конце 1980-х гг. составила 33,5 тыс. кв. км, а Малого – около 3 тыс. км<sup>2</sup>.

В 1990 г. Верховный Совет СССР признал Приаралье зоной экологической катастрофы. В это же время Казахстан предпринял первую реальную попытку хотя бы частичного восстановления Малого Арала. Идея спасения состояла в прекращении стока его вод в Большой Арал за счет строительства в бывшем проливе Берга земляной дамбы, продлевающей Кокаральский полуостров, разделявший озеро на две части. В 1994 году дамба из местных

материалов, а точнее, из песка была построена, но уже в апреле 1999 г., когда уровень Малого Арала почти достиг высоты дамбы, во время весеннего шторма перемычку размывло, и накопленная вода вылилась в Большой Арал. В результате всего за две недели уровень Малого Арала снизился на 6 м. Однако, несмотря на разрушение дамбы, предпринятая попытка показала принципиальную возможность поднять уровень воды и уменьшить ее соленость (Миклин, Аладин, 2008).

После катастрофического размыва дамбы в 1999 г. Казахстан и Всемирный банк выделили на строительство новой дамбы около 86 млн.



**Рис. 8.6.** Динамика трансформации Аральского моря (спутниковые снимки): а-1973 г., б-1987 г., в – 1993 г. (июнь), г – 1999 г., д – 2002 г. (сентябрь), е – 2004 г. (август), ж – 2005 г. (август), з – 2006 г. (август), и- 2007 г. (июль), к- 2008 г. (октябрь), л – 2009 г. (август), м – 2010 г. (сентябрь). Фото NASA.

долларов в соотношении один к трем, и в рамках проекта «Регулирование русла реки Сырдарья и Северного Аральского моря» (РРССАМ) за 2003-2005 г. была возведена Коккаральская дамба. Главным элементом нового сооружения стала более мощная земляная дамба длиной 17 км, высотой 6 м, и шириной 300 м. Дамба включает бетонную плотину с гидротехническим затвором для регулирования пропуска воды. Большой объем стока реки Сырдарья следующей зимой положил начало восстановлению северного Малого Арала. В

результате за восемь месяцев уровень воды поднялся здесь с 40 до 42 м и площадь водной поверхности увеличилась на 18%. Соленость воды стала снижаться с 20 г/л на уровень 2005 до 11-13 г/л на уровень 2008 г. (Aladin et al, 2008). Снижение солености позволило начать восстановление рыбного хозяйства водоема. Если в конце 1990-х гг. уловы в Малом Арале составляли от 470 до 800 тонн, то к 2007 г. они поднялись до 1910 тонн. Предполагается, что к 2012 году улов рыбы в Малом Арале может увеличиться до 10 тыс. тонн.



Водный баланс Большого Арала с начала 1990-х гг. остается отрицательным (рис. 8.6). Его приходная часть складывается из атмосферных осадков, периодического стока из Малого Арала, притока подземных вод, а также небольшого остаточного стока из р. Амударьи и дренажных каналов оросительных систем. В результате отрицательного водного баланса высыхание и осолонение Большого Арала в течение последних десятилетий постепенно ускорилось. С падением уровня Большого Арала до +34 м абс. о-в Возрождения соединился на юге с материком, и оно разделилось на Западный и Восточный Арал. В 2001–2002 гг. между ними сформировалась узкая протяженная протока (Завьялов и др., 2006) по которой наблюдалось перетекание вод из одного водоема в другой. Первоначально преобладало течение из подпитываемой амударьинские воды восточной котловины в западную, однако, когда к концу лета уровень восточного бассейна становился ниже уровня западного, течение могло меняться на противоположное (Аладин, Плотников, 2008).

В 2006 г. от Восточного Большого Арала отделился залив Тщebas. К этому времени суммарная площадь всех водоемов, оставшихся на месте Большого Арала, составила 14325 км<sup>2</sup> при объеме заключенной воды – около 81 км<sup>3</sup> (Аладин и др., 2006). Во время весеннего сброса большого объема воды из Малого Арала пересохла северная оконечность восточного бассейна затоплялась, и связь с этим заливом на время восстанавливалась. К 2008 г. поступление амударьинских вод практически прекратилось, в результате чего сток по соединявшей Западный и Восточный Арал протоке стал происходить исключительно в восточном направлении.

По мнению большинства исследователей, уменьшение притока в Аральское море объясняется на 20% естественным маловодьем, определяемым климатическими условиями, а на 80% антропогенным фактором – безвозвратным изъятием воды на орошение (Бортник и др., 1991, Аламанов и др., 2006).

### ***Современное состояние***

Если после завершения строительства Кокаральской дамбы у Малого Арала появился шанс сохраниться, то Большой Арал, к сожалению, уже обречен. В настоящее время подъем уровня Большого Арала в годовом разрезе практически не прослеживается, в лучшем случае он не

меняется зимой, а в летнюю половину года происходит его резкое падение. Последние космические снимки свидетельствуют о катастрофическом высыхании Большого Арала (рис. XX). Снимки за 2008 и 2009 гг. показывают, что в летнее время от Большого Арала оставалось лишь Западное озеро, тогда как на месте Восточного была заметна только большая мелководная лужа. Снимок за более влажный 2010 г. представляет менее пугающую картину, очертания обоих озер (Западного и Восточного Арала) видны на нем достаточно четко. Согласно данным НЦ ОМЗ суммарная площадь озер, оставшихся от Арала в период с 2009 по 2010 г. выросла на 3.3 тыс км<sup>2</sup>.

По мнению специалистов Европейского космического агентства (ESA) существует вероятность полного исчезновения Большого Арала уже к 2020 году, на месте западной и восточной частей Большого Арала еще некоторое время будут оставаться два небольших водоема, хотя их судьба не долговечна, и, прежде всего, – судьба восточного водоема. Несколько более благоприятные прогнозы высказывают Миклин и Аладин (2008), они предполагают что у Большого Арала есть шанс сохраниться при площади 4300 км<sup>2</sup>, средней глубине около 2.5 м, и солености от 100 до 200 г/л. В любом случае, поскольку интенсивность деградации восточной и западной частей Большого моря прежде всего зависит от величины поступающего туда стока р. Амударьи, иная, более оптимистичная, судьба Большого Арала требует политической воли стран, расположенных в его бассейне. На сегодняшний же день на месте бывшего моря происходит завершение формирования новой пустыни, прозванной Аралкум, которая станет продолжением пустынь Каракумы и Кызылкумы.

Судьба Малого Арала значительно более оптимистична. Благодаря завершенной в 2005 г. Кокаральской дамбе, отделяющей Малый Арал от Большого, его площадь начала увеличиваться, а соленость воды — снижаться. Для сохранения Малого Арала необходимо обеспечение постоянного объема годового притока р. Сырдарьи в озеро на уровне не менее в 2.5 км<sup>3</sup>/год. Пока такой сток поддерживается, Малый Арал, наполняется и за счет периодического стока в солончак Большого Арала, постепенно опресняется. С конца 2000-х гг. в Малом Арале происходит восстановление рыбных популяций и заболоченных территорий. Согласно ожиданиям (Миклин, Аладин,



2008) соленость воды в Малом Арале со временем установится в пределах 3–14 промилле, в зависимости от места. При таких показателях озерная экосистема может почти полностью восстановиться и озеро, в границах Малого Арала, вновь обретет статус важнейшего рыбохозяйственного водоема региона.

На 2010-2015 г. запланирована реализация второй фазы проекта «Регулирование русла реки Сырдарьи и Северного Аральского моря» РРССАМ-2, ведётся интенсивная работа по его подготовке. В июне 2010 г. состоялось заседание Рабочей группы экспертов-гидротехников, представителей областных административных органов и специалистов Исполкома МФСА в Кызылорде. Изначально в рамках второй фазы проекта планировалось построить плотину с гидроузлом в северной части Малого Арала, отделить зал. Сарышыганак и заполнить его водой по специально прорытому каналу из устья р. Сырдарьи, доведя уровень воды в нём до 46 м. От залива предполагалось протянуть судоходный канал к порту г. Аральска. Кроме того, для обеспечения транспортной связи между г. Аральском и комплексом сооружений в зал. Сарышыганак проект предусматривал строительство автодороги протяжённостью около 50 км параллельно бывшей береговой линии Аральского моря (Проект РРССАМ). Однако в дальнейшем было предложено внести ряд изменений в проект. Проведение технико-экономических изысканий, мониторинга и оценки результатов первой фазы РРССАМ-1 доказало необходимость наращивания высоты Кокаральской плотины с современной отметки 42 до 48-50 м и осуществления сброса воды в Большой Арал через пролив в западной части Малого Арала. С этой целью необходимо перемещение нынешнего водосброса из пролива Берга через зал. Шевченко, что потребует нового гидротехнического строительства в заливе. По расчетам, в результате реализации данного проекта объём воды в Северном Арале увеличится с 27 км<sup>3</sup> до 59 км<sup>3</sup>. При достижении уровня воды 46 м и выше, море значительно приблизится к г. Аральску, отодвинувшемуся на сегодняшний день от берега на расстояние 40 км. Согласно предложенной версии проекта необходимость строить плотину для отделения залива Сарышыганак отпадает. Данный способ решает сразу несколько задач: снижается солёность воды в Малом Арале с нынешних 13-16 до 2.5-

3 г/л, сокращается испарения воды, улучшается водно-химический баланс по всему морю.

### ***Изменения, происходившие в экосистеме Арала по мере его усыхания***

*Изменения термического режима* Термический режим Аральского моря характеризовался значительной амплитудой летних и зимних температур и их существенными различиями по площади озера. Летние температуры воды в открытой части озера достигали в поверхностных слоях 26-27°C, с глубиной они быстро снижались, так что в глубинных частях водоема температура в придонных слоях составляла от 3-4 до 10°C. В водоеме формировался хорошо выраженный термоклин, верхняя граница которого в его западной глубоководной части располагалась на глубине 10-15 м, а нижняя 25-30 м.

В прибрежной зоне температуры воды могли быть намного выше, чем в центральной части озера или, местами, ниже, в зависимости от характера береговой линии, преобладающих ветров и наличия компенсационных течений из глубоких, более холодных слоев. Отмечалось, что более высокие температуры воды у побережья, в сравнении с центральной частью, наблюдаются обычно летом, а более низкие - осенью. Осенне-зимняя конвенция происходила в два этапа, с началом осеннего выхолаживания начиналась ее первая стадия, продолжавшаяся до достижения перемешанным слоем воды температуры наибольшей плотности. Затем, при дальнейшем охлаждении поверхностного слоя воды до температуры замерзания, плотность воды несколько уменьшалась, создавалась устойчивая стратификация, при этом, несмотря на продолжавшуюся теплоотдачу, глубина конвенции не увеличивалась. При достижении температуры замерзания вод начиналась вторая стадия зимнего конвективного перемешивания, связанная с повышением плотности поверхностных вод в результате осолонения при льдообразовании (Косарев, 1975). Минимальная годовая температура воды приходилась на январь-февраль. Ледовые явления наблюдались преимущественно в северной, северо-западной и восточной прибрежной части озера, центральная часть благодаря ветрам обычно оставалась свободной от ледяного покрова. Лишь в наиболее суровые зимы лед мог сковывать все озеро полностью.

Падение уровня моря и осолонение его вод привели к росту амплитуды размаха годовых

колебаний температуры во всей толще вод и некоторому сдвигу фаз температурного режима. В связи с переходом озера от солоновато-водного водоема к соленому, происходило понижение температуры замерзания воды сначала до (-1.5 - -2.0)°С, а в дальнейшем, при переходе в стадию рассола – до (-5)°С. Температура наибольшей плотности после достижения солености в 24.7 ‰ стала равна температуре замерзания, что привело к значительным изменениям характера протекания процесса осенне-зимнего конвективного перемешивания. Конвекция стала протекать непрерывно в один этап до замерзания воды и появления льда, при этом вся масса вод выхолаживалась до значительных отрицательных температур (Гидрометеорология ..., 1990). В результате поверхностный слой стал иметь зимой очень низкую температуру, что обусловило сильное выхолаживание всей водной массы. Складов (2009) указывает на отмечающийся в Аральском море в весенний период значительный апвеллинг. Наблюдения середины 2000-е гг. свидетельствуют о его возникновении у восточного берега Западного Большого Арала и последующем распространении в направлении противоположного берега.

В связи с высокой соленостью и смещением северных берегов на юг с 1980-х гг. ледяной покров на Большом Арале в конце XX века не образовывался (Гидрометеорология ..., 1990). Однако, по мнению Духовного и Шуттера (2003) дальнейшее падение уровня и обмеление водоема угрожает замерзанию значительной части водной массы даже в не очень суровые зимы. Увеличение массы льда, приходящейся на единицу площади, приведет к более растянутому периоду ледотаяния.

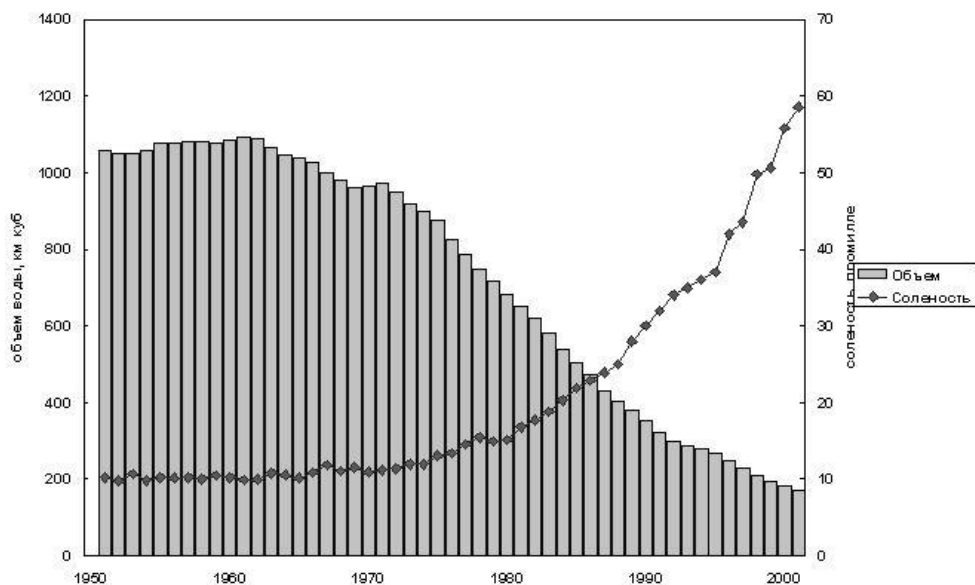
*Изменения качества воды* Вода Аральского моря отличалась высокой прозрачностью, особенно в его центральной и западной части, в юго-западной и северо-восточной части, куда впадали реки Амударья и Сырдарья, характеризующиеся повышенной мутностью своих вод, прозрачность была значительно ниже. Цвет воды в центре озера был синим, а у берегов – зеленоватым. Озерная вода характеризовалась щелочной реакцией, водородный показатель рН составлял 8.2-8.4. До начала 1960-х гг. Аральское море отличалось стационарностью своего солевого баланса. Ежегодно в море поступало 25.5 млн. т солей, основная масса которых подвергалась седиментации при смешении морских и речных вод и осаждалась

на мелководьях, в заливах, бухтах и фильтрационных озерах северного, восточного и южного побережий моря (Духовный, Шуттер, 2003). Средняя соленость воды Арала составляла - 10-12 промилле, в мелководных заливах она была несколько выше - до 14 промилле (Гидрометеорология, 1990). В пространственном распределении солености значительную роль играл приток речных вод, Амударьи для южной и юго-западной части моря и Сырдарьи - для северной. Наименьшая соленость наблюдалась в приустьевых участках, наибольшая – на восточном мелководье (Блинов, 1956). Таким образом, в квазистационарный период своей истории Аральское море по степени минерализации относилось к числу солоноватых водоемов. В химическом составе воды преобладали сульфат и карбонат ионы, при относительно небольшом количестве ионов хлора.

Содержание кислорода в озерной воде было высоким на всех глубинах, при этом особенностью Арала являлось пересыщение кислородом (иногда до 150-200%) придонных слоев, за исключением района глубоководной впадины, где на глубинах более 40 м относительное содержание кислорода было чуть меньше 100 %.

Вода Аральского моря характеризовалась невысоким содержанием основных биогенных элементов, и по уровню трофности озеро характеризовалось как мезотрофный водоем. Концентрации фосфатов в воде изменялись от 0 до 23 мкг/л, при среднем значении 1-4 мкг/л, средние концентрации нитратов не превышали 5 мкг/л, содержание нитритов было близко к нулю, а аммонийного азота достигало в поверхностном слое 80 мкг/л. Несколько повышенное содержание фосфатов отмечалось в северных районах и при впадении Амударьи и Сырдарьи (Блинов, 1956). Среднее содержание кремниевой кислоты составляло 250 мкг/л, варьируя в пределах 120-800 мкг/л.

С начала 1960-х гг., по мере сокращения пресного притока и обмеления водоема, происходил постепенный рост солености. Уже к середине 1960-х соленость повысилась до 12-14 промилле, причем на мелководье она возрастала наиболее быстро. К середине 1970-х годов средняя соленость моря поднялась до 14 промилле, а к началу 1980 гг. превысила 18 промилле. К концу 1987 г., к моменту разделения Арала на два самостоятельных водоема, соленость воды составляла более 25



**Рис. 8.7.** Изменение солености Аральского моря по мере обмеления, данные из опубликованных материалов проекта ИНТАС-0511 REBASOWS

промилле. К 1992-93 гг. она достигла уровня вод Мирового океана (Гуров и др, 2006), причем, из-за того, что на мелководье процессы испарения проходили более интенсивно, на таких участках, у восточного и северного побережья, появились четко выраженные зоны максимальной солености, 40.0–40.5 ‰ и 41-41.2 ‰, соответственно (Андреева, Андреев, 2003). В последующие годы из-за практически полного отсутствия пресного притока соленость продолжала подниматься (рис. 8.7). После строительства земляной дамбы, позволившей отделить Малый Арал от Большого озера и начать, таким образом, его опреснение, соленость Большого Арала стала расти еще быстрее. В начале 2000-х гг. она составляла в среднем по морю 40-50 г/л, но уже к середине 2000-х повысилась до 70-100 г/л (Аладин и др. 2006). Согласно данным Склярова (2009) соленость поверхностных вод Большого Арала летом 2006 г. достигала 109 г/л. При этом рост солености быстрее происходил в мелководном восточном бассейне. В 2010 г. на значительной части акватории Большого Арала соленость превышала 100 г/л. Согласно материалам, доложенным сотрудниками института океанологии РАН на пресс-конференции «Аральское море - живое или мертвое?» по результатам 10-ой экспедиции на Арал, проведенной в 2009 г. местами она поднимается до 150 и даже 200 мг/л.

С ростом солености происходили изменения солевого состава вод. По мере ее увеличения и

частичного выпадения в осадок карбонатов кальция, доломита и магнезиального кальцита, в воде уменьшилось относительное содержание кальция, магния и сульфатов и заметно возросло относительное содержание ионов хлора, натрия и калия (Бортник, 1983, Михайлов, 1999). Увеличение солености привело солеую систему моря в состояние насыщения по отношению к некоторым солям, так что она потеряла свою устойчивость, и теперь достаточно даже небольших изменений солености, температуры или pH воды, чтобы вызвать осаждение или растворение некоторого количества солей, при одновременных значительных изменениях в химическом составе воды (Цыцарин, Бортник, 1991).

В связи с активным применением удобрений и возросшим биогенным загрязнением рек Амударьи и Сырдарьи, концентрация биогенных веществ в воде Аральского моря в начале периода усыхания неуклонно повышалась. Причем рост наблюдался даже в условиях резкого сокращения водного притока. Содержание фосфатов увеличилось к середине 1970-х гг. до 5-18, против 1-4 мкг/л на начало 1960-х. Зоны максимальных и повышенных концентраций (10–18 мкг/л) находились в приустьевых участках и в восточной части Большого моря. В последующие годы, особенно в 1981–1985 гг., произошло резкое увеличение средних концентраций фосфатов по всей акватории моря до 15–45 мкг/л. Наряду с фосфатами

возросла концентрация нитратов и аммонийного азота. В конце 1980-х гг. максимум концентраций аммонийного азота был отмечен в районе мыса Изендыарал (160 мкг/л), повышенные значения наблюдались в западной глубоководной котловине (124 мкг/л), в зоне распреснения на юго-востоке Большого моря (60–75 мкг/л) и у устьевого взморья Сырдарьи (140 мкг/л). В центральной и западной частях Малого моря содержание аммонийного азота было от 60 до 80 мкг/л (Свиридова, 1990). Резкий и устойчивый рост средних концентраций всех биогенных веществ в озере, наблюдаемый в 1981–1985 гг., проходил на фоне ослабления и даже, в отдельные годы, прекращения биогенного стока рек. Первостепенное значение в режиме биогенных веществ в этот период стало принадлежать процессам внутреннего круговорота биогенных веществ и обмена на границе вода – дно. С конца 1980-х гг. в Арале наблюдалось снижение прозрачности воды, которая в августе 1992 г. в районе западной глубоководной котловины не превышала 9–10 м, в центральной части Большого моря – 5–7 м, а в Малом море – 4 м. Из-за снижения прозрачности воды первичное органическое вещество продуцировалось в основном в пелагиали. По типу его формирования экосистема Аральского моря с начала 1980-х годов стала приближаться к экосистемам южных морей России (Андреев, Андреева, 2001).

Изменения биоты Высшая водная растительность До начала высыхания и осолонения Арала значительную часть его прибрежной зоны занимали обширные заросли тростника (Карпевич, 1975), а также рдесты и роголистник, на илистых грунтах в изобилии росли такие погруженные макрофиты, как взморник (*Zostera*) и руппия (*Ruppia*). Общее количество видов составляло 37 (Доброхотова, 1971). Во многих донных сообществах доминировали харовые водоросли. С ростом солености высшая водная растительность Арала начала отступать, вместе с ней исчезли и харовые водоросли. Уже в 1960-е гг. наблюдалось сокращение площадей, занятых тростником (Аширбеков, Зонн, 2003). Активный процесс исчезновения макрофитов начался в 1970-е и к концу 1980-х гг. завершился вымиранием большинства аральских видов. В 1989 г. было отмечено отсутствие харовых водорослей и резкое сокращение площадей занятых взморником и руппией, произраставших ранее на песчаных грунтах, обнажив-

шихся из-за снижения уровня моря (Андреев, Андреева, 2001). На сегодняшний день макрофиты остались лишь на прибрежных мелководьях Малого Арала и представлены небольшими по площади зарослями взморника и руппии, также сохранились зеленые водоросли: *Chaetomorpha linum*, *Cladophora glomerata*, *Cl. fracta* (Orlova et al., 1998).

Фитопланктон Основу фитопланктона Аральского моря составляли диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли (Русакова, 1995). Согласно данным Пичкилы (1981) в озере было зафиксировано 306 видов, среди зеленых водорослей были широко распространены *Cladophora*, среди красных – *Polysiphonia*. Развитие фитопланктона всегда сдерживалось недостатком биогенных веществ в водной толще и прессом со стороны зоопланктона (Андреева, Андреев, 2003). К 1995 г. видовой состав фитопланктона сократился до 243 видов. Его первичная продукция не превышала 0.25 мгС/л (Orlova et al., 1998, Aladin et al., 2000). К 2009 г., согласно экспедиционным данным Института Океанологии РАН, в Большом Арале оставалось лишь около 50 видов фитопланктона, однако его биомасса сохранялась на прежнем уровне (Аральское ... 2009).

Водная фауна Изначально фауна Арала отличалась относительной бедностью видового состава, определяемой его молодостью и особенностями геологической истории. Здесь отсутствовали многие группы животных, обычные в Каспии: мизиды, корофииды, кумовые, полихеты т.д. По своему зоогеографическому составу фауна имела гетерогенное происхождение и состояла из пресноводных по происхождению видов, широко распространенных в пресных и солоноватых каспийских и средиземноморско-атлантических водоемах (Аладин, 1984). Эвригалинные и галофильные виды были представлены в очень небольшом количестве. Наблюдавшийся с начала 1960-х гг. рост солености моря вызвал значительные изменения как в видовом составе озерной биоты, так и соответствующее уменьшение ее биомассы. Обеднение видового состава зоопланктона и зообентоса происходило в несколько основных этапах, при переходе через мезогалинный барьер при солености 12–14 ‰, через эугалинный барьер – 25–28 ‰ и через гипергалинный барьер – 40–45 ‰. В результате к сегодняшнему дню водная фауна Арала утратила практически все генеративно-пресноводные и солоноватоводные виды беспозвоночных и рыб. Их место

занято немногочисленными интродуцированными эвригалинными морскими видами, либо малочисленными ранее аборигенными эвригалинными и галофильными видами (Андреева, Андреев, 2003).

**Зоопланктон** До 1960-х гг. основу зоопланктона Арала составляли веслоногие ракообразные *Arctodiaptomus salinus* (70–98% биомассы зоопланктона), понто-каспийские ветвистоусые рачки *Cercopagis pengoi aralensis*, *Evadne anonychus*, *Podonevadne camptonux*, *P. angusta* и коловратки рода *Synchaeta* (Луконина, 1960). В летний период в большом количестве присутствовали личинки двустворчатых моллюсков. Начиная с 1960-х гг., в результате прогрессирующего роста солености, состав зоопланктона Арала стал сокращаться, вначале в нем исчезли пресноводные, а затем и солоноватоводные каспийские планктонные ракообразные. В 1970-80-х гг. в озере сохранялись лишь несколько видов аборигенных эвригалинных коловраток, *Halicyclops rotundipes aralensis* и несколько видов гарпактицид, новым доминантом стал вселенец морского происхождения – веслоногий ракообразный *Calanipeda aquaedulcis*. К 1990 г. состав зоопланктона Арала включал: коловраток – *Synchaeta vorax*, *S. cecilia*, *S. gyrina*; ветвистоусых рачков – *Podonevadne camptonux*, *Evadne anonychus*, а также в более соленом Большом Арале – *Moina mongolica*; веслоногих ракообразных – *Calanipeda aquaedulcis*, *Halicyclops rotundipes aralensis*, *Schizopera aralensis*, *Nitocra lacustris*; личинки двустворчатых моллюсков – *Abra ovata*, *Cerastoderma isthmicum*. Основу численности и биомассы зоопланктонного сообщества формировали акклиматизанты: *C. aquaedulcis* и личинки *Syndosmya* (Андреева, Андреев, 2003, Аладин и др., 2006).

После разделения Арала на два моря, Большое и Малое, их режимы начали развиваться по различным сценариям. В связи с тем, что приток по р. Сырдарья поддерживался более высоким, чем по р. Амударья, уровень Малого моря стал повышаться, а минерализация воды снижаться. В конце 1990-х гг., фауна Малого моря начала постепенно восстанавливаться, тогда как в Большом море она продолжала претерпевать дальнейшую деградацию. В планктоне Малого моря вновь появились исчезнувшие в 1980-е гг. рачки *Podonevadne camptonux*. В то же время, в гипергалинный Большой Арал естественным путем вселился ряд отсутствовавших прежде видов, ранее

обитающих в соленых водоемах Приаралья, среди которых – *Artemia parthenogenetica*. С дальнейшим повышением солености в Большом море исчезли широко распространенная в 1980-е гг. копепода *C. aquaedulcis*, а также коловратки рода *Synchaeta*. К середине 2000-х гг. произошло разделение Большого Арала на западный и восточный, сопровождающееся дальнейшими изменениями озерной фауны. В середине 2000-х гг. зоопланктон западного Арала состоял из появляющейся в летние месяцы галофильной инфузории – *Fabrea salina*; двух редких прежде, но широко распространенных аборигенных видов коловраток – *Brachionus plicatilis*, *Hexarthra fennica*; ветвистоусых рачков – *Moina mongolica*; веслоногих ракообразных – *Halicyclops rotundipes aralensis*; жаброногих – *Artemia salina*. В 2004 г. появились веслоногие *Apocyclops dengizicus*. В восточном Арале, где соленость выше, обитала только *Artemia parthenogenetica* (Аладин и др., 2006, Завьялов и др., 2006).

**Бентос** До начала усыхания в Арале обитало более 150 видов свободноживущих беспозвоночных (Атлас беспозвоночных ..., 1974), число которых в 1960-е гг. было увеличено еще на 8 видов-вселенцев. Основу донной фауны составляли 7 видов кольчатых червей, 5 – высших ракообразных, 17 – насекомых и 12 видов и подвидов моллюсков. Среди двустворчатых моллюсков были широко представительны рода *Dreissena* и *Hypanis* а также *Cerastoderma rhomboides rhomboides*. Начиная с 1960-х гг. донная фауна Арала претерпела значительные изменения, и к концу 1980-х гг. здесь остались преимущественно широко эвригалинные виды. При этом биомасса бентоса существенно возросла, так в 1981 г. она составляла 147.4 г/м<sup>2</sup>, что примерно в 15 раз превосходил значения 1960 гг и в 5 раз 1950 гг (период до изменения бентосной фауны, связанной с подселением новых видов рыб). К 1990 гг. зообентос Арала включал: двустворчатых моллюсков – *Abra ovata*, *Cerastoderma isthmicum*; брюхоногих – *Caspihydrobia* spp.; многощетинковых червей – *Nereis diversicolor*; ракушковых – *Cyprideis torosa*; десятиногих ракообразных – *Palaemon elegans*, *Rhithropanopeus harrisi tridentatus*. Из аборигенных видов сохранялись только двустворчатый моллюск *C. isthmicum* и брюхоногие моллюски рода *Caspihydrobia*, существенно возрасла доля вселенцев морского происхождения: двустворчатого моллюска *Syndosmya segmentum*, полихеты *Hediste diversi-*

color, краба *R. harrisii tridentata*. К концу 1990-х гг. в озере исчезли уже последние малочисленные гарпактициды, копепода *Halicyclops rotundipes aralensis*, креветка *Palaemon elegans* и краб (Андреева, Андреев, 2003, Аладин и др. 2006).

После разделения Арала донная фауна опресняющегося Малого моря начала потихоньку восстанавливаться, в ней вновь появились турбеллярия *Mecynostomum agile* и крупная инфузория *Frontonia marina* (Mirabdullayev et al., 2007). Согласно Завьялову и др. (2006) в середине 2000-х гг. бентос Малого Арала состоял из: двустворчатых моллюсков – *Abra ovata*, *Cerastoderma isthmicum*; брюхоногих – *Caspihydrobia* spp.; многощетинковых червей – *Nereis diversicolor*; ракушковых – *Cyprideis torosa*, *Eucypris inflata*; десятиногих ракообразных – *Palaemon elegans*; и личинок хирономид. В то же время в Большом море с 2001 г при солености 67‰ исчезла полихета *Hediste diversicolor* и двустворчатый моллюск *Cerastoderma isthmicum*, к 2002 г. перестала встречаться и *Syndosmya segmentum*. После разделения в начале 2000-х гг. Большого Арала на западное и восточное моря в западном Арале некоторое время оставались: инфузории – *Frontonia* sp.; турбеллярии – *Mecynostomum agile*; брюхоногие – *Caspihydrobia* spp.; двустворчатые – *Abra ovata*; многощетинковые черви – *Nereis diversicolor*; и ракушковые – *Cyprideis torosa*, *Eucypris inflata*, тогда как в восточном Арале бентос отсутствовал.

К 2009 г., согласно экспедиционным данным Института Океанологии РАН, в море из бентосных организмов сохранились лишь личинки двукрылых насекомых из группы хирономид (*Chironomidae*), а из зоопланктеров - древняя артемия (*Artemia salina*) (Аральское ... 2009)

Рыбная фауна Изначально, в Аральском море обитало около 20 видов рыб, в том числе: шип (*Acipenser glaber*), сом (*Silurus glanis*), сазан (*Cyprinus carpio*), усач (*Barbus brachycephalus*), плотва (*Leuciscus rutilus*), язь (*Idus oxianus*), лещ (*Abramis brama*), белоглазка (*Abramis sapa*), жерех (*Aspius erythrostomus*), шемая (*Alburnus chalcoides*), чехонь (*Pelecus cultratus*), лосось (*Saimo oxianus*), щука (*Esox lucius*), колючка (*Jrasierosteus platygaster*), окунь (*Perca fluviatilis*), судак (*Lucioperca lucioperca*) (Берг, 1908). Рыбный промысел базировался в основном на трех видах: леще, сазане и аральской плотве (вобле), кроме того,

вылавливали аральского усача, белоглазку, шемаю, судака и жереха. Добыча рыбы была приурочена к прибрежным районам и устьям рек, ежегодные уловы к середине XX в. составляли 30-50 тыс. тонн. В 1950-60 е гг. в море были вселены еще 13 видов рыб (Карпевич 1975). С вселением в озеро каспийской кефали, а также бычков и каспийской астерины озерная фауна претерпела крайне негативные изменения. Кормовая база местных видов рыб была значительно подорвана, биомасса бентоса с 1956 по 1966 г. сократилась более чем в 3 раза, с 29.9 до 9.3 г/м<sup>2</sup> (Андреева, Андреев, 2003). Это негативно сказалось на таких промысловых видах, как сазан, плотва и лещ. Однако, несмотря на неудачные работы по вселению новых видов, Арал продолжал до 1960-х гг. сохранять третье место по рыбному производству среди континентальных водоемов бывшего СССР.

Первые признаки отрицательного воздействия осолонения на ихтиофауну Аральского моря появились уже в середине 1960-х гг. при солености 12-14 промилле. На мелководных нерестилищах соленость возрастала более быстрыми темпами, чем в открытых районах моря, и к 1967 г. превысила 15 промилле, что губительно сказалось на развитии икры. Начиная с 1971 г., средняя соленость воды даже в открытой части моря достигла 12 промилле, появились первые признаки отрицательного воздействия солености на взрослых рыб: у представителей многих видов замедлился темп роста, резко сократилась численность. К середине 1970-х гг., когда средняя соленость моря превысила 14%, стало очевидным нарушение естественного воспроизводства, уже во второй половине 1970-х гг. в популяциях многих видов рыб отсутствовало пополнение. С начала 1980-х гг. наблюдалось резкое изменение видового состава рыб Аральского моря, а уловы сократились до 14 тыс. тонн. К концу 1980-х гг. ихтиофауна уже почти полностью была представлена вселенцами морского происхождения, а промысел был прекращен (Аширбеков, Зонн, 2003). К началу 1990-гг. Аральское море практически полностью потеряло свое рыбохозяйственное значение. В составе ихтиофауны из аборигенных видов остались колюшки (*Pungitius platygaster*), из акклиматизантов - бычки (*Pomatoschistus caucasicus*, *Neogobius fluviatilis*, *N. melanostomus*, *N. syrman*, *N. kessleri*, *Proterorichinus marmoratus*), салака (*Clupea harengus membras*), атерина (*Atherina boyeri*



*caspia*), камбала (*Platichthys flesus*) (Андреева, Андреев, 2003). Уловы многократно снизились, основным промысловым видом стала акклиматизированная в 1980-е гг. черноморская камбала-глосса *Platichthys flesus luscus*, отличающаяся большой экологической пластичностью и размножающаяся при солености от 17 до 60 промилле. Ее уловы в Малом Арале в 1990 гг. составляли более 30% от общего количества рыбы. Некоторое локальное улучшение ситуации произошло после отделения Малого от Большого Арала дамбой. В результате, в 1999 г. сюда, благодаря снизившейся солености, начали возвращаться из Сырдарьи пресноводные рыбы. К середине 2000-х гг. ихтиофауна Малого Арала была представлена салакой (*Clupea harengus membras*), камбалой (*P. flesus*), атериной (*A. boyeri caspia*), бычками (*K. caucasicus*, *N. fluviatilis*, *N. melanostomus*, *N. syrman*, *N. kessleri*, *P. marmoratus*), колюшкой (*P. platygaster*) в 2004 г. в озере вновь появился белый амур (*Stenopharyngodon idella*) и судак (*Sander lucioperca*). В тоже время в еще более осолоноившемся Большом Арале рыба к середине 2000-х гг. исчезла полностью. В западном Арале в конце 1990-х – начале 2000-х гг. при солености до 80-90 г/л еще некоторое время сохранялись салака, камбала, атерина и 2 вида бычков (*N. melanostomus*, *K. caucasicus*) (Аладин, Плотников, 2008). Однако уже к 2003-2004 гг. ежегодно проводящиеся экспедиции Института Океанологии РАН зафиксировали полное исчезновение рыбного населения Большого Арала (Завьялов и др., 2006).

### **Основные проблемы усыхания Арала**

Высыхание Аральского моря имело тяжелейшие последствия. Из-за резкого уменьшения стока рек прекратились весенние паводки, снабжавшие дельтовые озера и тростниковые плавни низовий рек Амударьи и Сырдарьи пресной водой и плодородными отложениями. Уже к началу XXI в. площади тростников сократились в 20 раз, с 600 до 30 тыс. га, а тугайные леса - с 1300 до 50 тыс.га (Духовный, Шуттер, 2003). В прибрежной зоне (выше 53 м) полностью разрушилась формировавшаяся на протяжении многих веков экосистема дельты и прибрежной полосы, высохли озера. Только в дельте Амударьи площадь озер сократилась с 400 до 26 тыс. га (Рощенко, 2010). С понижением уровня воды в обеих частях Арала упал уровень грунтовых вод с изначальных 3 м до 5-8 м, в зависимости от удаленности от берега. Это изменило режим

питания растений и процессы почвообразования, еще более ускорив процесс опустынивания. В результате, растительный и животный мир Приаралья потерял около половины своего генофонда (Аширбеков, Зонн, 2003).

Повышение уровня солености Арала привело к резкому сокращению численности рыбы и ее видового состав. Если в 1960 г. вылов рыбы достигал 40 тыс. т, то к середине 1980-х гг. местное промысловое рыболовство попросту перестало существовать, и было потеряно более 60 тыс. связанных с этим рабочих мест. Единственным объектом промысла стала черноморская камбала, приспособленная к жизни в соленой морской воде и завезенная сюда еще в 1970-е гг. Однако к 2003 г. в Большом Арале исчезла и она, не выдержав солености воды более 70 г/л (Миклин, Аладин, 2008). Рыболовство сохранилось лишь в Малом Арале. В целом по морю произошло снижение рыбопродуктивности в 20 раз в сравнении с 1960 г. (Рощенко, 2010).

Так как вода отступила на многие километры от главных местных портов - г. Аральска на севере и г. Муйнак на юге, судоходство на Арале прекратилось. Поддерживать в судоходном состоянии все более длинные каналы к портам оказалось чересчур затратным делом (Миклин, Аладин, 2008).

Отступившее море оставило после себя более 55 тыс. км<sup>2</sup> сухого морского дна на месте которого с разрушением водных экосистем появились обширные солончаки и сильно засоленные земли. Обсохшая часть дна моря, особенно Восточная и Северная, стали основными источниками зарождения крупных пыльных бурь и очагами ветрового соле- и пыле- выноса, в результате море из регулятора (поглотителя) геохимических потоков превратилось в источник засоления окружающих земель. Минерализация атмосферных осадков в равнинной части бассейна Аральского моря возросла с 0.025 до 0.065 г/л (Глазовский, 1990). Площадь солончаков увеличилась в регионе с 85 до 273 тыс. га, а площадь гидроморфных почв в Южном Приаралье сократилась с 630 до 80 тыс. га (Рощенко, 2010).

С высохшей акватории моря ежегодно разносятся свыше 100 тысяч тонн соли и тонкодисперсной пыли с примесями различных химикатов и ядов, пагубно влияя на все живое. Перенос солей происходит на расстояния до 500 км с интенсивностью от 0.1 до 2.0 т/га.

Бикарбонат, хлорид и сульфат натрия перемещаются по воздуху и уничтожают или замедляют развитие естественной растительности и сельскохозяйственных культур. Ветры преобладающих в регионе в холодную часть года северных румбов оказывают неблагоприятное воздействие на расположенную южнее плотно населенную и экономически развитую дельту р. Амударья. Засоленная пыль направляется, главным образом, в Хорезмский оазис (Рощенко, 2010). Эффект загрязнения усиливается и тем, что Арал расположен на пути мощного струйного течения воздуха с запада на восток, способствующего выносу аэрозолей в высокие слои атмосферы.

Исчезновение Арала привело к существенным изменениям климатических условий региона в полосе 150-200 км от моря, еще более усилив континентальность климата. Лето в Приарале стало более сухим и коротким, а зима более холодной и длинной. Летние температуры воздуха повысились на 2-3°C, а зимние уменьшились. Сумма активных температур снизилась на 400-500°C, что ухудшило условия сельскохозяйственного производства (Панкова, Айдаров, 2005). На 10% понизился уровень влажности воздуха и, соответственно, сократилось количество атмосферных осадков. Вегетативный сезон сократился до 170 дней, чаще стали наблюдаться засухи.

Экономические потери, связанные с изменением климата, гидрохимических характеристик водных объектов, сокращением рыбного промысла в Аральском море, деградацией более 4 млн. га земель и утратой биоразнообразия в регионе, составляют, согласно различным оценкам от несколько сот миллионов (Рощенко, 2010) до несколько миллиардов долларов США в год (Миклин, Аладин, 2008). Последствия повлияли на уровень жизни и состояние здоровья населения, которое страдает от широкой распространенности респираторных заболеваний, анемии, рака горла и пищевода, а также расстройств пищеварения. Участились заболевания печени и почек, глазные болезни. Первыми жертвами экологического кризиса стали самые уязвимые слои населения – дети, женщины, малоимущие жители Приаралья.

В 2001 г. в результате ухода воды остров Возрождения соединился с материком. На этом острове Советский Союз испытывал бактериологическое оружие: возбудителей сибирской,

туляремии, бруцеллёза, чумы, тифа, оспы, а также токсин ботулизма проверялись здесь на животных. После распада СССР и закрытия этого исследовательского центра на острове были проведены финансируемые США (6 млн. долларов) работы по обеззараживанию. Несмотря на это, сохраняются опасения, что опасные микроорганизмы сохранили жизнеспособность, и заражённые грызуны могут стать их распространителями в другие регионы.

### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

Восстановление Аральское море в прежнем виде уже нереально. Согласно расчётам, если увеличить годовой приток вод Амударьи и Сырдарьи до 55 км<sup>3</sup>, то прежний уровень озера может восстановиться примерно за 35 лет, однако это потребует практически полного отказа от водозабора (Миклин, Аладин, 2008). Более реальным является улучшение ситуации путем сокращения расхода воды на орошения богарного земледелия, перехода на менее влаголюбивые культуры и полной модернизации всей системы орошения. В настоящее время, богарные земли не играют существенной роли в валовом сельхозпроизводстве бассейна Аральского моря, за исключением экстенсивной системы животноводства (рогатый скот и овцы). Тем не менее, повышение продуктивности неорошаемых (богарных) земель является важной задачей. Некоторые культуры, как например, зерно, в настоящий момент усиленно выращиваются на орошаемых площадях, однако они могут быть переведены на неорошаемые площади, что позволит значительно сократить объем оросительной воды, забираемой из бассейна. Важнейшим способом сокращения водозабора является модернизация существующей системы орошения. Модернизация включает ряд мероприятий, в том числе введение методов капельного, дождевального, дисперсионного орошения в зонах с крутыми склонами и в предгорьях, где эти методы сократят потребление оросительной воды в 2-3 раза, предотвращая нежелательное воздействие на окружающую воду (заболачивание, эрозия, вымывание со склонов и т.д.). Согласно расчетам сокращение расхода воды на орошение за счет различных мероприятий может ежегодно сберегать порядка 12 км<sup>3</sup> воды, но будет стоить около 16 млрд. долларов США. К сожалению, пока у стран бассейна Аральского моря на это нет ни денег, ни

политической воли (Миклин, Аладин, 2008).

С целью преодоления экологического кризиса и улучшения социально-экономического положения в бассейне Аральского моря, признанного мировым сообществом регионом одной из крупнейших катастроф XX в., главы государств Центральной Азии в 1993 году создали Международный Фонд спасения Арала (МФСА), работающий в сотрудничестве с ведущими мировыми финансовыми организациями. Среди основных задач, которые предполагается решать:

- защита населения от воздействия опустынивания;
- восстановление максимально возможного биологического разнообразия флоры и фауны;
- создание рабочих мест для местного населения путем восстановления рыбоводства, озерного водоводства, пастбищного скотоводства, перерабатывающих отраслей и т. д.;
- создание местному населению соответствующих социально-экономических условий, необходимых для повышения уровня жизни путем внедрения новых требований к управлению водными и земельными ресурсами;
- предотвращение дальнейшего ухудшения качества окружающей среды и восстановление экологического равновесия в Приаралье (Духовный, де Шуттер, 2003).

К сожалению, большинство мер, предпринятых для спасения Арала, направлены, большей частью, не на борьбу с первопричинами катастрофы, а на ликвидацию ее последствий. Основные силы и средства, выделяемые государствами и международными гуманитарными организациями, уходят на поддержание жизненного уровня населения и инфраструктуры региона. Кроме того, между странами – членами МФСА часто отсутствует согласие, в результате чего работа фонда оказывается неэффективной.

В связи с наметившимся и прогнозируемым в перспективе изменением климата острота проблемы бассейна Аральского моря становится еще более явной. Все апробированные Госкомгидрометом климатические сценарии, отражающие «потепление климата», предполагают снижение стока рек Амударья и Сыр-

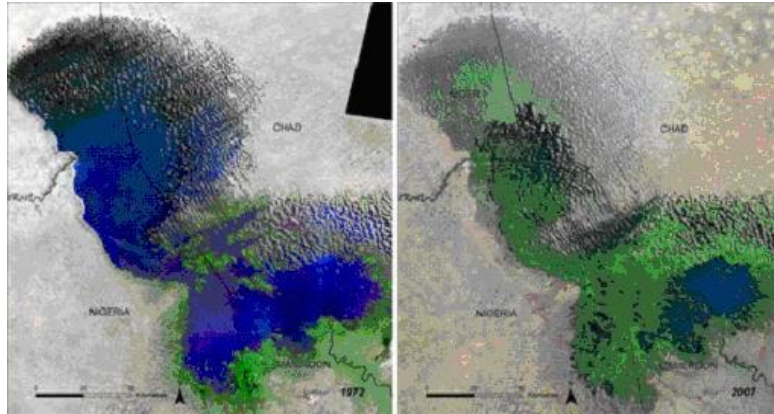
дарья, особенно четко выраженное в период вегетации. По самым пессимистичным прогнозам в связи с общим потеплением климата и уменьшением запасов снега и льда в горах сток реки Сырдарья может сократиться на 15–20% и сток реки Амударья - на 20–30% (Аламанов и др., 2006).

## 8.2. ОЗЕРО ЧАД

Озеро Чад - огромное мелководное пресное озеро, расположенное в центральной Африке, у южных границ Сахары, там, где она смыкается с северными районами Судана (рис. 8.8). Его координаты: 12°00'-14°30'с.ш.; 13°00'-15°30'в.д., урез воды находится на высоте около 280 м над уровнем моря (High level..., 2008). Страны: Чад, Нигер, Нигерия, Камерун расположены по берегам озера и контролируют 42, 28, 21 и 9% его поверхности, соответственно. «Чад» - означает «большое пространство воды». Его уровень подвержен значительным колебаниям, как сезонным, так и многолетним, и определяется величиной выпадающих осадков. Из-за мелководности озерной чаши площадь озера изменяется в широких пределах, за период измерений она составляла от 1000 до 50000 км<sup>2</sup>, объем заключенной воды - 31.3 - 105 км<sup>3</sup>, время водообмена – от 1 до 2 лет.

Оз. Чад является наследником более крупного древнего водоема Мега-Чада, сформировавшегося в период влажной стадии неолита (Опукеева, 2008). Это было сточное озеро, разгружающееся в Атлантический океан в районе Гвинейского залива. За прошедшие 12 тыс. лет площадь озера много раз сокращалась и трижды очень сильно увеличивалась. Последнее увеличение происходило 5400 лет назад, когда его акватория покрывала 340 тыс. км<sup>2</sup>, а максимальная глубина составляла 154 метра. Объем озерной воды в этот период оценивается в 13500 км<sup>3</sup> (Leblanc et al., 2006). Озерные отложения указывают также на периоды, когда озеро практически полностью пересыхало - около 10500, 7500, 4000 и 2100 лет назад.

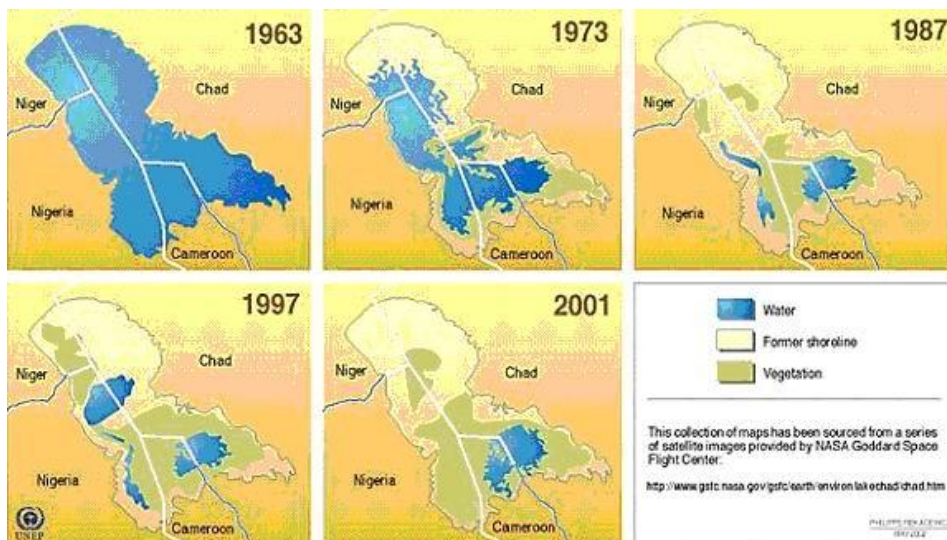
Большую часть бассейна озера слагают породы мелового, третичного и четвертичного возраста, имеющие значительную мощность ( ). Четвертичные пески различного происхождения имеют наибольшее распространение. На юге бассейна наблюдаются выходы кристаллического основания. Очертания берегов озера постоянно меняются, одна-



**Рис. 8.8.** Спутниковые снимки оз. Чад за 1972 и 2007 гг. Изображения сделаны, когда озеро находилось в сезонном пике своего размера. Фото NASA.

ко присущими им общими чертами являются: относительная прямолинейность западного и южного и сильная изрезанность северного и восточного берегов. Берега большей частью болотисты и заросли папирусом; к северо-востоку местность имеет характер степи, и лишь на юге отличается богатой тропической растительностью. Вдоль северного и восточного берегов расположены многочисленные острова общей площадью около 5000 км<sup>2</sup> – группы Кури, Карка и Будума, представляющие собой полузатопленные песчаные дюны. Острова поднимаются над уровнем озера на 12-15 м и изрезаны сухими или наполненными водой протоками. Озеро очень мелкое, даже в годы средней водности основные глубины составляют около 1.5-2 м и лишь на небольшой акватории превышают 7 м. Наибольшей глубиной отличается западная часть у Нгорну и Мадуари, в сезон дождей максимальная

глубина составляет 11 м. В 1960-е гг. площадь водного зеркала оз. Чад составляла 26000 км<sup>2</sup> и оно являлось четвертым по величине озером африканского континента. В период дождей озеро могло разливаться до площади в 50000 км<sup>2</sup>. Засуха 1970-х годов практически высушила Северный бассейн озера и способствовала зарастанию Южного, который представлял в конце XX в. череду участков открытой воды с участками болот. Лишь при значительном осеннем подъеме уровня, происходящем за счет притока р. Шари, вода могла переливаться в северный бассейн через разделяющий их Большой Барьер (Lemoalle et al., 2008). Среди болотной растительности доминировали тростники, папирусы и рогоз, образовавшие густые заросли даже в центре озера. В конце XX в. усыхание оз. Чад продолжилось (рис. 8.9), и в начале XXI в.



**Рис. 8.9.** Изменения площади водного зеркала оз. Чад за последние 50 лет. Источник: сайт UNEP.

озеро лишь в сезон дождей существует как мелководный водоем с глубинами около 1.5-2 м, тогда как в сухой сезон оно фактически превращается в обширное болото. Даже в сезон дождей максимальная глубина оз. не превосходит 7 м, а площадь составляет 5000-7000 км<sup>2</sup>. В засушливую часть года северный бассейн может полностью пересыхать. В 2006 г. площадь областей открытой воды в сухой сезон сократилась до 1000 км<sup>2</sup> (High level..., 2008). Оз. Чад продолжает высыхать, что подтверждает мониторинг Земли, осуществляемый международной системой «Disaster Monitoring Constellation». На сегодняшний день заросли макрофитов покрывают около 40% площади озера. Области открытой воды (чуть менее 40% площади) сохранились лишь в южной части водоема, близ устья р. Шари. Около 23% приходится на острова (Odada et al., 2006).

Озеро Чад и его притоки обладают обширной заболоченной поймой и представляют собой крупнейшие водно-болотных угодья области Сахель общей площадью около 10 млн. га. Наиболее значительные поймы, как по своему размеру, так и по экологическому значению, это поймы р. Шари, Логон и Комадугу-Йобе. Также как пойменные земли может рассматриваться прибрежная полоса вокруг озера, ежегодно заливаемая в период подъема уровня. Полоса мелководья отличается богатым растительным покровом и является местообитанием огромного количества птиц.

Согласно научным исследованиям, оз. Чад высыхает уже в седьмой раз за последнее тысячелетие. Однако все предыдущие случаи были связаны лишь с климатическими изменениями и происходили за более длительный промежуток времени. В современном катастрофически быстром усыхании озера значительная вина антропогенного фактора.

### ***История заселения озера и его роль в жизни окружающих народов***

В 6 тысячелетии до н.э., когда в регионе оз. Чад преобладал гумидный климат и по большей его части вместо сегодняшней пустыни была распространена саванна, по берегам оз. Чад проживали негроидные племена, занимавшиеся охотой. В 5-3 тыс. в регион приходят представители тенерийской культуры, относящиеся к европеоидной расе, однако их следы бесследно исчезают после высыхания Сахары.

В литературных источниках оз. Чад впервые появляется у греков. У Птолемея оно упоминается как «периодически появляющееся болото Нуаба». После наступления нашей эры регион озера находился под опекой различных царств и княжеств, сменявших друг друга, таких как Сонгаи, Канем-Борно, Вадаи, Багирми, Мандара, Сокотто, Раббах. В XI в. в регионе был принят ислам. Ряд культур отличались достаточно высоким уровнем развития, однако частые войны приводили к смене одних царств другими, находящимися порой на значительно более низком уровне развития. Некоторые царства распадались и попадали под власть кочевых племен.

Современными европейцами озеро было впервые открыто в 1823 г. Первые сведения о нем приводятся шотландцами Хью Клаппертоном, Денхэмом и Удни, увидевшими огромный водоем, раскинувшийся среди песков. Однако, когда в более позднее время берегов озера достиг Г. Барт (1852 г.), он обнаружил лишь сильно заросший болотистый водоем с редкими пятнами свободной водной поверхности. Позднее, в 1870-72 гг., исследования на озере проводил Г. Нахтигаль. В период его пребывания уровень озера вновь резко поднялся, так что был разрушен простоявший не одно столетие на берегу озера г. Нгами (Nahtigal, 1971).

На рубеже XIX и XX вв. начинается колониальный период развития народов, проживающих по берегам оз. Чад. В 1893—94 гг. оз. Чад было разграничено в отношении сферы влияния между Англией, Францией и Германией. Западный берег отошел к английской сфере влияния (современная Нигерия), южный берег до реки Шари — к германской (современный Камерун), а от Шари на восток — к французской (современная территория Чада и Нигера). По результатам I Мировой войны германские колонии отошли к Англии и Франции. В 1960-х гг. страны региона приобретают независимость. Этот период изобилует массой трудностей в политическом и экономическом строительстве и военными конфликтами. До сих пор большинство государств региона относятся к числу беднейших стран мира.

Оз. Чад играет огромнейшую роль в жизни народов, проживающих по его берегам и в его бассейне. Расположение на краю огромной пустыни Сахара делает его оазисом, обеспечивающим столь жизненно необходимой в



Среднегодовое параметры климата, ст. Bol Dune

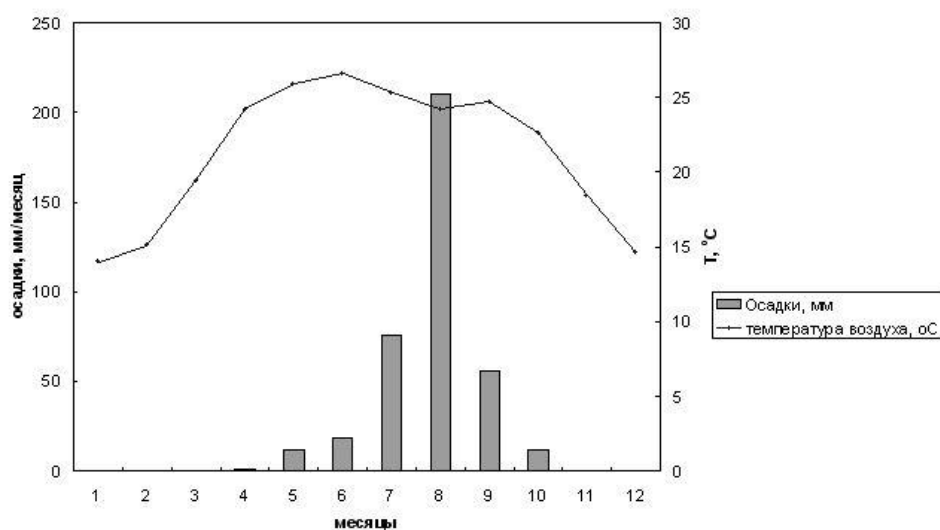


Рис. 8.10. Среднемесячные параметры климата ст. Bol Dune.

пустынных условиях водой людей, выращиваемые ими культуры и разводимый скот. В бассейне оз. Чад проживает более 30 млн. человек, полностью зависящих от его водных ресурсов и крайне уязвимых при любых изменениях, происходящих с озером. Являясь источником воды для водоснабжения, орошения и нужд животноводства, озеро также обеспечивает местное население рыбными ресурсами и является центром сосредоточения многочисленного животного мира пустыни.

#### **Характеристики термического режима и температурная стратификация**

Оз. Чад расположено в регионе с крайне аридным климатом. Лишь в южной части бассейна аридный климат сменяется семиаридным и на крайнем юге — гумидным. Средняя температура воздуха в бассейне составляет 21.4°C (Odada et al., 2006). Средняя величина годовых осадков - 320 мм/год, изменяясь в пределах водосбора от менее 150 мм в северной части до 1600 мм в южной. В районе озера осадки выпадают лишь в летние месяцы, с июня по октябрь, а их максимум обычно приходится на август. Внутригодовое распределение средних месячных осадков на ст. Бол Дюн приведено на рис. 8.10. С ноября по февраль для региона характерна сухая, прохладная погода, а с марта по май — сухая, жаркая. В южной части бассейна максимум осадков приходится на осенние месяцы, в связи с этим максимум стока и рост уровня на оз. Чад также наблюдается в конце осени.

С 1954 по 1972 гг. величина годовых осадков над оз. Чад изменялась в пределах 125-565 мм, затем их количество резко сократилось. Величина испаряемости в районе озера оценивается в 2300 мм/год, на юге бассейна она снижается до 1100 мм (Roche, 1977). Температура воды оз. Чад составляет зимой около 16°C, летом около 33°C. Согласно данным Magnet (1996) среднегодовые температуры - от 25.5 до 27.5°C (Odada et al., 2006). Озеро полимиктическое. Из-за мелководности значительных изменений температуры с глубиной не наблюдается.

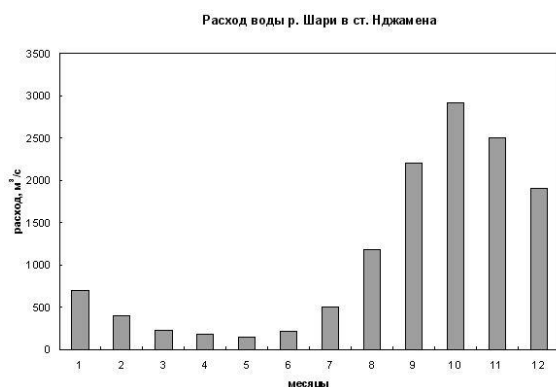
#### **Водный баланс. Уровенный режим**

Основной приток в озеро происходит по р. Шари, впадающей с юга и обеспечивающей согласно данным различных авторов от 83% (Lemoalle, 1975) до 96% (Odada et al., 2006) приходной части баланса. С 1930 по 1960 гг. р. Шари приносила около 40 км<sup>3</sup> воды в год. После наблюдаемой с середины 1960-х гг. засухи и последовавшего за ней активного ирригационного строительства в бассейне расход р. Шари сократился вдвое до 21.8 км<sup>3</sup> (Odada et al., 2006), рис. 8.11. Большую часть года р. Шари маловодна. Основной ее сток приходится на осенний сезон, рис. 8.12. Немного воды дают р. Комадугу-Йобе, впадающая с запада, р. Мбулу, впадающая с юга и некоторые другие. Общий приток в озеро за прошедшие 40 лет сократился с 42.9 до 24.7 км<sup>3</sup>, а осадки на его поверхность с 6 до 2.1 км<sup>3</sup>/год (Odada et al., 2006).





**Рис. 8.11.** Осредненный за десятилетия приток воды по р. Шари в оз. Чад по данным Odada et al., 2006.



**Рис. 8.12.** Внутригодовое распределение стока по р. Шари, ст. Нджамена по данным Odada et al., 2006.

Согласно исследованиям Lemoalle et al. (2008) для восстановления площади оз. Чад до средних размеров (около 20 000 км<sup>2</sup>) достаточно единичного годового притока, составляющего 38-40 км<sup>3</sup>, аналогичный приток необходим в последующие годы для поддержания размеров озера. Минимальный приток, необходимый для сохранения открытой водной поверхности в южной части озерного бассейна оценивается в 10 км<sup>3</sup> (Lemoalle et al., 2008)

Поверхностный отток из оз. Чад обычно отсутствует, лишь в крайне редких случаях, при выпадении катастрофических осадков, сток проходит по руслу Бахр-эль-Газаль (ILEC, 1984). При этом уровень воды в озере должен превышать 282.5 м (Lemoalle et al., 2008). Вероятно, последний раз длительный отток по руслу Бахр-эль-Газаль проходил в конце 1800-х гг. Существует подземный отток из озера в северо-восточном направлении до Эгеи и Борку. Гипотезу о его существовании выразил еще во второй половине XIX в. Г. Нахтигаль в своих сочинениях (Nahtigal, 1971). Подземный отток направлен в сторону обширной впадины

Боделе, расположенной в девятистах километрах к северо-востоку от озера, на восемьдесят метров ниже его уровня. Отток проходит в толще песчаных наносов, под руслом Бахр-эль-Газалья. По оценкам Mockrin et al. (2001) величина этого оттока составляет до 8% расходной части водного баланса. Испарение оценивается в 92-96% (Roche, 1977).

Многолетние колебания уровня воды оз. Чад очень значительные и зависят от климатической обстановки в его бассейне. За период наблюдений колебания составляли около 10 м. На рис. 8.13 приведен график уровня воды оз. Чад, осредненный за полугодовой период. В конце XIX в. уровень воды был намного выше, чем сегодня. Его первое значительное падение наблюдалось в начале XX в., затем уровень нормализуется и к концу 1950-х годов наблюдается его подъем. После 1961 г., в связи с засухой, уровень воды резко падает. В период 1960-2010 гг. уровень воды изменялся между отметками 277 и 284 метра.

Наиболее низкий уровень воды оз. Чад приходится на май-июль, после чего, в связи с

График уровня воды оз. Чад, 1871-2010 гг.

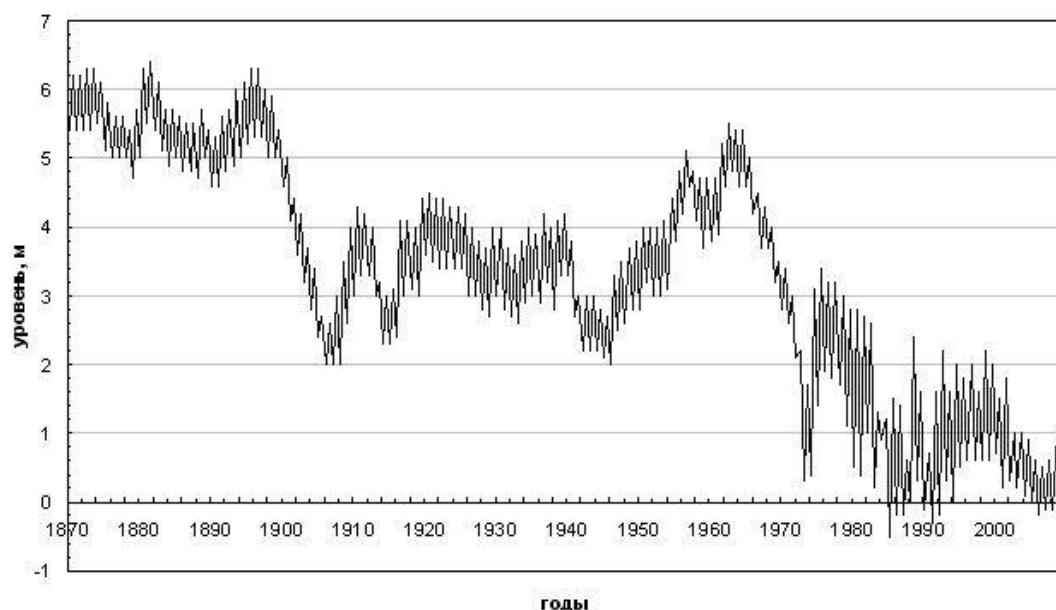


Рис. 8.13 Изменения уровня воды оз. Чад, по данным Oliverly J.C. et al., TOPEX/Poseidon historical archive.

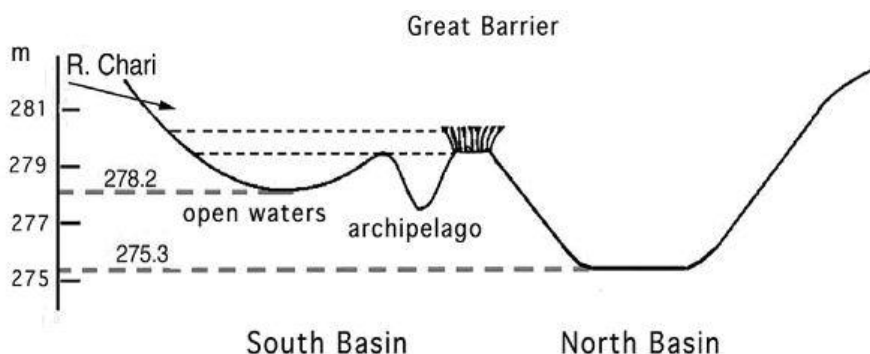


Рис. 8.14. Продольный разрез оз. Чад. Источник: Lemoalle et al., 2008.

выпадающими в бассейне р. Шари осадками, он начинает расти. С постепенным поднятием уровня низкий юго-западный берег широко заливается. Максимальный уровень отмечают в ноябре-декабре, затем в течение нескольких месяцев он медленно снижается. Осенью происходит переток воды из Южного в Северный бассейн через Большой Барьер. Высота Барьера 279.3 м, а его протяженность около 40 км (рис. 8.14), он покрыт густой водной растительностью, осложняющей при небольших уровнях поступление воды в северную часть озера (Lemoalle et al., 2008). Средняя годовая амплитуда уровня воды оз. Чад составляет 0.6-1.0 м, в многоводные годы – 2 м и более.

#### Основные характеристики качества вод

Вода оз. Чад темного цвета грязноватая, с большим количеством водорослей, прозрачность низкая, чаще всего 0.2-0.5 м, лишь на юге в период с декабря по январь она может достигать 1 м (Odada et al., 2006). Минерализация для пустынного замкнутого водоема очень низкая, до падения уровня ее средние значения составляли 320 мг/л, увеличиваясь в направлении юг-север с 40-50 мг/л до 1000 мг/л (Roche, 1977). Близ устьев рек вода пресная, в остальной части — слабо солоноватая. Незначительность минерализации объясняется, видимо, постоянной сменой воды в озере за счёт подземного оттока инфильтрационных вод. Электропроводность также нарастает по направлению с юга на север, от 70-90 до 600-900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (FAO, 1973), среднее значение для озера – 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Odada et al., 2006). pH 7.2-

7.9, но в северной части может подниматься и до 9.0. Среди анионов до падения уровня преобладали бикарбонаты, содержание хлоридов небольшое. С увеличением солености в направлении юг-север состав доминирующих катионов изменялся с Ca>Mg>K>Na на Na>Mg>K>Ca (Roche, 1977). Концентрации кислорода всегда небольшие, даже у поверхности. Концентрации хлорофилла-а в зимние месяцы составляли 10-30 мкг/л, в летние - до 700 мкг/л.

Длительная засуха, приведшая к сокращению площади озера, заметно отразилась на его гидрохимии. Согласно Lemoalle et al. (2005) увеличилась концентрация в воде сульфат-ионов, которые в северном бассейне выросли до 210 мг/л. Снизилась концентрация ионов калия, что было связано с его поглощением болотной растительностью. В то же время из-за обильного разложения высшей водной растительности, сопровождающейся выделением CO<sub>2</sub>, уменьшилось осаждение Ca и Mg.

Формирование солевого состава оз. Чад определяется гидрохимией воды притекающей в озеро р. Шари, а также частично связано с взаимодействием поверхностных и подземных вод. Ресурсы подземных вод регионального значения представлены в пределах озера двумя водоносными системами. Первая из них – водоносный слой, содержащийся в четвертичных песках и глинисто-песчаных отложениях, залегающих на глубине от нескольких до 50 метров и имеющий электропроводность от 50 до 5000 μS/см. На глубине 250-400 м залегают артезианские водоносные горизонты плиоценового возраста (Olivry 1996). Их электропроводность составляет 700-4000 μS/см. Артезианские воды обнаружены лишь в центральной части бассейна. Помимо двух описанных водоносных слоев есть и другие артезианские воды, расположенные на больших глубинах, однако их объем и состав плохо изучен.

#### **Основные биологические особенности. Ихтиофауна, рыбная ловля**

Высшая водная растительность оз. Чад представлена воздушно-водными макрофитами: воссия (*Vossia cuspidata*), папирус (*Cyperus papyrus*), тростник (*Phragmites australis*, *P. mauritanicus*, *C. laevigatus*), рогоз (*Typha australis*), леерсия (*Leersia hexandra*), ежовник (*Echinochloa* sp.). Папирус, тростник мавританский и воссия доминируют на юге, тростник австралийский и рогоз предпочитают солоно-

ватые воды северной части озера (Odada et al., 2006). Среди плавающих макрофитов: кувшинка (*Nymphaea* spp.), ряска (*Lemna perpusilla*), пистия (*Pistia stratiotes*), спиродела (*Spirodela polyrhiza*), азолла (*Azolla africana*), ипомея (*Ipomoea aquatica*), нептуния (*Neptunia oleacea*). Обильно распространена пистия, покрывающая значительные пространства вдали от берега. Среди погруженных макрофитов: рдест (*Potamogeton schweinfurtti*), роголистник (*Ceratophyllum demersum*), валлиснерия (*Vallisneria* sp.), наяда (*Najas* sp.), пузырчатка (*Utricularia* spp.) (LBRI&ILECF, 1988).

В фитопланктоне доминируют харовые водоросли: *Closterium aciculare*, зеленые: *Pediastrum*, *Botryococcus*, синезеленые: *Microcystis*, *Anabaena*, диатомовые: *Melosira granulata*, *Surirella muelleri*. Общая продуктивность фитопланктона составляет 18000 кг/га год. В зоопланктоне преобладают представители отряда ветвистоусых рачков: *Diaphanosoma excisum*, *Daphnia barbata*, *Ceriodaphnia cornuta*, *Moina micrura*, *Bosmina longirostris* и веслоногие ракообразные: *Tropodiptomus incognitus*, *Thermocyclops neglectus*, *T. incisus circusi*, *Mesocyclops leuckarti*. Общая биомасса зоопланктона колеблется в течение года от 2.2 до 5.3 см<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. (LBRI&ILECF, 1988)

Бентос представлен 110 видами комаров-звонцов, в том числе: *Polypodilum*, *Cryptochironomus*, *Tanytarsus*, *Nilodorum*; толстохоботных комаров: *Chaoborus anomalus*, *C. ceratopogones*, *C. odulis*; поденок: *Povilla adusta*, *Eatonica schoutedeni*; ручейников: *Dipseudopsis capensis*, *Ecnomus* spp.; полужесткокрылых: *Diplonychus Grassei*, *D. nepoides*, *Hydrocyrius* spp., *Lethocerus Cordofanus*, гребляков: *Micronecta scutellaris*, *Macrocoris flavicoli*, плейд: *Plea pullula*, водомерок: *Limnogonus cereveintris leptocerus*, *Naboandelus bergevini*, клопов-водомерок: *Hydrometra albolineata*; стрекоз: *Brachythemis leucosticta*, *Diplacodes lefebvrei*, *Urothemis edwardsi*, *Paragomphus* sp., *Lestes simulans* (Dejoux, C. 1968).

В озере было зафиксировано 179 видов рыб, представляющих 26 семейств. Доминируют представители отряда сомообразных: *Synodontis batensoda*, *S. membranaceus*, *Synodontis cf. schall*, *Schilbe mystus*; окунеобразных: нильский окунь (*Lates niloticus*); цихлиды: *Tilapia galilaea*, алестиды: *Alestes baremoze*, *A. dentex*, *A. macrolepidotus*, *Hydrocyon forskalii*, *H. brevis*, карпообразные: *Labeo senegalensis*, *Labeo*

*coubie*, *Eutropius niloticus*, *Bagrus bayard*; мормировые: *Hyperopisus bebe*, цитариновые: *Citharinus citharus*, *C. distichoides*, аравановые: *Heterotis niloticus* (Lauzanne, L. 1972, ИЕС, 1984). Наиболее ценными коммерческими видами являлись алест и нильский окунь.

Рыбная продуктивность оз. Чад в 1970-е гг. составляла 200-300 кг/га или 130000-141000 тонн/год. Усыхание озера в конце XX - начале XXI вв. крайне неблагоприятно сказалось на рыбных запасах. Сильно пострадала биологическая вариативность водоема, исчезло от 5 до 8 видов рыбы в различных частях озера (Odada et al., 2006). Среди коммерческих видов катастрофически сократилась популяция алестид, а нильский окунь существенно уменьшился в размерах, так что его вес редко превышает 5-8 кг (Mockrin et al., 2001). В настоящее время уловы составляют порядка 60000-85000 тонн/год (Odada et al., 2006). Кроме проблем с климатом и сокращением речного притока негативное влияние на рыбные запасы оказывает также их сверхэксплуатация и использование недопустимых методов лова.

Озеро является местом обитания птиц, мигрирующих между палеарктическим и афротропическим царствами. В зимний период здесь находят прибежище более миллиона водоплавающих и болотных птиц, представителей 66 видов (17 и 49, соответственно). На озере самая большая популяция турухтана (*Philomachus pugnax*), кроме того, большие популяции свистящей утки (*Dendrocygna viduata*), северной шилохвосты (*Anas acuta*) а также чирка-трескунка (*Anas querquedula*). Здесь обитает еще два практически местных вида – приния (*Prinia fluviatilis*) и кустарниковый жаворонок (*Mirafra rufa*), а также редкий мраморный чирок (*Marmaronetta angustirostris*).

В озере обитают ламантины (*Trichechus senegalensis*), крокодилы (*Crocodylus niloticus*) и гиппопотамы (*Hippopotamus amphibius*), популяция которых со второй половины XX в. резко сократилась, а также две выдры (*Lutra maculicollis*, *Aonyx capensis*). С 2000 г. оз. Чад объявлено частью Рамсарских водно-болотных угодий, имеющих особую экологическую ценность и требующих особой защиты.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Бассейн оз. Чад занимает площадь 2 397 423 км<sup>2</sup> (High level..., 2008). Кроме четырех стран, выходящих к его берегам (46.3%, 28%, 7.5%, 1.9% от площади бассейна, соответственно), он охватывает также ЦАР (9.1%), Алжир (3.7%), Судан (3.4%) и Ливию (0.1%). В бассейне проживает более 30 млн. человек (High level..., 2008). Прирост населения составляет 2.8% в год ( Среди наиболее крупных городов региона – Нджамена, Майдугури, Маруа, Зиндер. Большинство стран, расположенных в бассейне озера, относятся к беднейшим странам мира, их ВВП на душу населения на 2009 г. составлял от 700 (Нигер), до 2300 (Нигерия, Камерун, Судан) долларов США, несколько больший доход в Алжире (6700) и Ливии (14000). Более 60% населения живет ниже черты бедности, 28% жителей, проживающих в сельской местности, недоедают и около 8% испытывают острое недоедание. В регионе очень высокий уровень детской смертности, около 40% детей отстают в росте (Odada et al., 2006). Лишь 31% детей ходят в школу. Уровень грамотности катастрофически низок.

Основное занятие населения – сельское хозяйство, в котором занято около 60% жителей. Среди выращиваемых культур: рис, пшеница, кукуруза, овощи, хлопок, арахис, маниока, просо. Из отраслей индустрии на водосборе развиты: хлопкопрядение, кожевенная, машиностроение, мукомольная и пищевая промышленность. Широко развита добыча соды, в которой используется также детский труд. Важной отраслью является рыболовство. Водопотребление на водосборе невысокое – 70-120 л/чел. день, причем большая его часть приходится на сельскохозяйственный сектор, до 90% в Чаде и 80% в Нигере. На коммунальное водопотребление остается от 10 до 20%.

Изначально в регионе было развито традиционное польдерское земледелие, дающее один урожай в год. В связи со снижением количества осадков в 1960-е гг. в регионе было развернуто активное строительство оросительных систем. В результате, при нормальном уровне воды в озере, благодаря строительству системы дамб и насосов, удавалось получать до трех урожаев в год. Однако в связи с продолжающимся падением уровня в 1970-е гг., система орошения просуществовала всего 6 лет и то на треть своей мощности. В 1979 г. было начато осуществление Южного Чада Иригационного Проекта (South Chad Irrigation Project, SCIP) в бассейне р. Шари, который

должен был обеспечить орошение общей площадью 660 км<sup>2</sup>, при этом предполагалось изымать около 3% ежегодного притока в озеро (Mockrin et al., 2001). После того как две из трех стадий, входящих в проект, были завершены, дальнейшая реализация проекта была отложена из-за сильнейшей засухи. Сооружения поддерживаются в хорошем состоянии в ожидании восстановления озера. Ирригация с использованием построенных каналов и насосов может быть возобновлена в бассейне оз. Чад лишь при условии значительного повышения уровня озера. Однако, необходимо отметить, что многие ирригационные проекты были плохо согласованы между собой и их совместное использование может исключаться даже при благоприятной климатической обстановке как из-за их крайне негативного воздействия на окружающую среду, так и за счет конкуренции за водные ресурсы. Например, согласно Adenle (2002) беспорядочное строительство плотин в верховьях р. Йобе привело к значительному сокращению водно-болотных угодий Нгуру. Плохо спланированное строительство плотины Алабе привело к снижению уровня грунтовых вод и сокращению водно-болотных угодий Самбисса .

На настоящий момент из 1 160 000 га земли, пригодной для орошения в бассейне оз. Чад, фактически орошается менее 115 000 га (Odada et al., 2006). Наибольшая площадь орошаемых земель (чуть менее 75% от их общего количества) в Нигерии. По оценкам ООН максимальный потенциал орошаемых земель в бассейне составляет менее 400 000 га, так как орошение всех пригодных земель (1 160 000 га) требует около 80% современного притока в озеро.

В последние годы в бассейне оз. Чад были разведаны месторождения нефти, разработка которых, как предполагается, должна значительно приподнять экономику региона. Доказанные запасы нефти оцениваются в 1 млрд. баррелей. План развития нефтяной промышленности в регионе предполагает разработку нефтяных месторождений на юге республики Чад и строительство 1070-километрового нефтепровода к атлантическому побережью Камеруна. Нефтеперерабатывающий завод будет построен в Нджамене. Согласно оценкам за 25 лет производства предполагается получить доход для Чада около 2 млрд. долларов и для Камеруна около 500 млн.

долларов. Развитие нефтяной промышленности должно существенно ускорить урбанизацию региона. Параллельно предполагается развитие горно-добывающей промышленности в ЦАР и осуществление широкомасштабных сельскохозяйственных проектов. Перечисленные проекты могут существенно ухудшить экологическую обстановку в регионе. Так нефтедобыча часто сопровождается широкомасштабными разливами нефти, вызывающими значительное загрязнение водных объектов и потерю биоразнообразия.

### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

Количество осадков в бассейне оз. Чад значительно изменилось за прошлые 45 лет, отразившись на существенном снижении уровня воды и уменьшении площади озера, а также на сокращении растительного покрова на водосборе и большей уязвимости к эрозии. Согласно (2009) максимальное снижение осадков во второй половине XX в. наблюдалось в Нигерии и составляло 36%, в других частях бассейна - от 15 до 30%. Определенная вина в снижении величины осадков приписывается глобальному антропогенному изменению климата.

Вслед за климатическими причинами дальнейшее сокращение площади озера было вызвано быстро увеличивающимся в регионе водопотреблением, прежде всего на нужды ирригации. Особенно интенсивно строительство ирригационных схем происходило с начала 1970-х годов, в ответ на первую волну снижения осадков в бассейне (Сое, Foley, 2001). Водозабор на ирригационные нужды за период 1983-1994 г. в четыре раза превышал его величину за период 1953-1979 гг. Безвозвратный водозабор составлял около 1/3 стока по р. Шари (Glantz, 2004). Одной из важнейших причин усыхания озера называют также чрезмерный выпас в бассейне, приводящий к уничтожению растительности и опустыниванию (2009). Согласно мнению Сое, Foley (2001) около половины объема оз. Чад сократилось только за счет антропогенного фактора. Неразумные решения, принимаемые без должного планирования (типа строительства больших дамб), усилили проблемы в бассейне озера. Ситуация усугубляется использованием устаревших методов управления в области охраны природы и необоснованным использованием природных ре-

сурсов в нынешних социально-экономических условиях ( .

На сегодняшний день береговая линия оз. Чад существенно отступила, и в областях, где раньше была вода, теперь происходит быстрое опустынивание. Многие жители, которые проживали раньше вблизи озера, оказались отдалены от него на большое расстояние. Значительная часть молодой растительности из-за отсутствия наводнений высохла, травяной покров истощился. Многие животные, обитавшие раньше вблизи озера, были вынуждены мигрировать в поисках пропитания. На огромной территории к северо-востоку от озера в колодцах, питаемых грунтовыми водами, исчезла вода. Практически полностью исчезла растительность в северной части озера, на месте бывшего озерного ложа возникли дюны. Пустыня распространяется и на запад. В результате большое количество жителей вместе со своим домашним скотом мигрировало на юг.

Катастрофическое сокращение площади озера привело к резкому обнищанию местного населения. Население, занятое в животноводстве, из-за сокращения площадей пригодных для выпаса скота столкнулось с проблемой чрезмерной эксплуатации пастбищ. Общины, занятые ранее ловом рыбы, в связи с сокращением площади озера и последовавшим за ним снижением рыбозапасов, были вынуждены переключиться на занятие сельским хозяйством. В то же время количество орошаемых земель, позволяющих получать высокие урожаи, резко сократилось. Из-за нехватки воды с целью использования всех возможных ресурсов, началось распахивание части озерного ложа.

Засуха в значительной степени изменила параметры развития экономики в регионе, затронув не только сельскохозяйственное производство и промышленность, но и сферу торговли. В результате возникла необходимость менять правила, регулирующие доступ к природным ресурсам (LCBC 1990). Однако своевременного решения этого вопроса не было. Сокращение площади озера привело к конфликтам как между странами, расположенными в бассейне, так и между интересами различных водопользователей. Участились межэтнические столкновения, связанные с нехваткой воды для домашнего скота и сельского хозяйства (Odada et al., 2006). Вопрос, как будут перераспределены права на оставшуюся воду, остается, по-прежнему, нерешенным. Фермеры и пасту-

хи заинтересованы в сохранении водозабора на сельскохозяйственные нужды, тогда как рыбаки требуют сокращения водозабора и поддержания уровня озера для сохранения рыбозапасов.

Среди других проблем, имеющих место в бассейне оз. Чад - продолжающееся сведение лесов, усугубляющее проблемы эрозии, увеличение засоления почв, связанное с плохой ирригационной практикой, деградация речных русел, биологические инвазии (Glantz, 2004), и рост загрязнения. Согласно Odada et al. (2006) эффективность ирригации в регионе составляет лишь 11%, что требует резкого изменения ирригационной практики. Отсутствие ежегодных наводнений вызывает деградацию речных русел. В бассейне р. Йобе из-за существенного снижения расхода воды резко возросло заиление, сократилось биоразнообразие и увеличилось количество инвазий, в том числе таких сорняков как рогоз (*Typha australis*), забивающих русла и оросительные каналы (Odada et al., 2006).

Активное антропогенное развитие приводит к большому количеству сточных вод, прежде всего с сельскохозяйственных полей. Кроме того, определенную долю в загрязнение водной среды вносят перегнивающие на полях остатки урожая (Oguntola 2003). Загрязнение сельскохозяйственными, промышленными стоками и твердыми отходами носит как местный, так и обще бассейновый характер.

В связи с возникшими вокруг оз. Чад проблемами становится очевидным недостаточное знание в области водных ресурсов и функционирования водных систем региона. Нет никакой системы, позволяющей контролировать количество и качество пресноводных ресурсов, и, кроме того, нет эффективных водных программ защиты качества воды. Доступные данные по качеству воды относятся к 1960-70 гг. Некоторые государства, расположенные в бассейне озера, как Нигерия, до конца 1980-ых гг. вносили существенный вклад в области изучения водных ресурсов региона. В дальнейшем, в связи с недостатком политического желания и проблемами финансирования, программы по созданию постоянной сети гидрологических наблюдений потерпели крах. На сегодняшний день для принятия правильных решений в сфере управления водными ресурсами развитие комплексной системы наблюдений крайне необходимо в регионе. В



идеале такая система должна состоять из системы непрерывного автоматизированного, телеметрического мониторинга качества воды и других параметров, влияющих на качество воды, таких как метеорологические и гидрологические данные, компьютерных моделей для оценки качества воды и системы поддержания решения, включая профессиональные базы данных (Paradimitrakis et al., 2005). Охрана и управление природными ресурсами в бассейне оз. Чад на комплексной и устойчивой основе являются важнейшей задачей стран, расположенных в бассейне озера.

#### ***Описание мер, планируемых для улучшения экосистемы озера***

В 1964 г. с целью совместного решения проблем, связанных с оз. Чад, четырьмя странами, расположенными по берегам озера, была создана Комиссия по оз. Чад (Lake Chad Basin Commission, LCBC). В 1994 г. к работе комиссии присоединилась ЦАР. В результате встречи 1994 г. был разработан Генеральный план по развитию и рациональному использованию окружающей среды (Master Plan for the Development and Environmentally Sound Management of the Natural Resources of the Lake). В 1998 г. был принят план стратегического развития (Strategic Action Plan), подготовленный при участии Всемирного Экологического Фонда (Global Environmental Facility). В 1999 г. были начаты 3 проекта по развитию рыбной ловли, финансируемые ЕС. В 2000 г. в качестве члена Комиссии по оз. Чад при встрече на высшем уровне принимал участие Судан, однако он не ратифицировал соглашение LCBC, что является необходимым условием участия в Комиссии. В 2008 г. к деятельности Комиссии присоединилась Ливия, став ее 6 официальным участником. В качестве наблюдателей в деятельности Комиссии принимают участие Судан, Демократическая Республика Конго и Республика Конго. Наибольший финансовый вклад в деятельность Комиссии вносит Нигерия.

Основное направление деятельности комиссии по оз. Чад – исследования природных ресурсов и регулирование водопользования в бассейне, управление водными и другими природными ресурсами, а также разработка, координация и продвижение проектов развития природных ресурсов. Почти все государства, являющиеся членами комиссии подготовили свои долго-

срочные планы природоохранных мероприятий. Необходимым условием для всех стран, участвующих в Комиссии, является предоставление материалов по всем проектам, касающимся природных ресурсов. Комиссия рассматривает также жалобы, поступающие в ее адрес, и урегулирует спорные вопросы. Совместные заседания на высшем уровне проводятся раз в два года, а на уровне специальных уполномоченных представителей Комиссии - ежегодно. Важнейшей составляющей процесса управления водными ресурсами является проведение систематических информационно-пропагандистских кампаний, направленных на информирование и повышение экологического уровня местного населения.

С целью охраны биологической вариативности в регионе оз. Чад создана пока единственная охраняемая территория - Lake Chad Game Reserve, площадью 7044 км<sup>2</sup> протягивающаяся вдоль западного нигерийского побережья на 150 км, около половины нигерийской прибрежной зоны. Однако ее охраняемость находится под большим вопросом, так как местные общины требуют землю под сельское хозяйство и рыбную ловлю. С 2003 г. практически всю территорию озера Чад было предложено включить в состав Рамсарских охраняемых водно-болотных территорий.

#### ***Проект Пополнения оз. Чад***

В связи с периодическими засухами и возникающими проблемами водопользования в бассейне оз. Чад в конце XX в. был предложен план переброски вод р. Убанга (бассейн р. Конго) в озеро Чад по р. Шари. Схемы переброски были разработаны в 1980-90-х гг. итальянской фирмой «Bonifica» (Transaqua Scheme) и нигерийским инженером J. Umolu (ZCN Scheme) (Journal of Environmental Hydrology, 1999). В 1994 г. Комиссия по Бассейну оз. Чад (LCBC) предложила более детально рассмотреть данные проекты и предоставить их технико-экономическое обоснование. В 2002 г. на очередной сессии LCBC был принят Проект Пополнения оз. Чад (The Lake Chad Replenishment Project, LCRP), однако разработка технико-экономического обоснования была невозможна из-за нехватки финансов. В начале 2000-х гг. стало ясно, что в реализации проекта заинтересованы не только страны, расположенные в бассейне оз. Чад, но и Демократическая Республика Конго и

Республика Конго. С целью продвижения проекта были предприняты попытки привлечения зарубежных и международных инвесторов. В марте 2008 г. состоялась встреча на высшем уровне глав государств-членов LCBC с целью обсуждения проекта переброски (Voice of America News...2008). В апреле 2008 г. LCBC послала в Мировой Банк запрос о возможности финансирования проекта переброски. Первый этап проекта, предполагающий разработку технико-экономического обоснования, оценивается в 8 млн. долларов и уже получен государствами-членами LCBC (High level..., 2008). Тендер на реализацию первой части проекта выиграла канадская фирма СИМА-International. Согласно контракту работы, рассчитанные на два года, начаты с конца 2009 г.

Проект Пополнения оз. Чад предполагает строительство более 100 км каналов и перекачку воды из одного бассейна в другой. В узком ущелье у водопадов Ливингстона в Паламбо предполагается создание плотины, выше которой образуется огромное водохранилище, так называемое «море Конго». По одному из крупнейших притоков р. Конго, Убанга, расположенной в своих верховьях в непосредственной близости к притокам р. Шари, вода из водохранилища потечет в обратном направлении и через канал соединится с

верховьями р. Шари. Переброска может обеспечить сток по р. Шари от 40 до 100 км<sup>3</sup>. Модельные расчеты Lemoalle et al. (2008) показывают, что для восстановления среднего размера оз. Чад (более 20000 км<sup>2</sup>) при существующих климатических условиях достаточно перебросить в р. Шари 15-20 км<sup>3</sup> воды/год. Переброска от 20 до 30 км<sup>3</sup> может возобновить отток из озера по р. Бахр-эль-Газаль.

Переброска полноводной р. Убанга могла бы оживить умирающее озеро Чад, способствовала бы поддержанию рыбозапаса и обеспечению водой сельского хозяйства региона. Кроме того, она сможет остановить наблюдающееся продвижение пустыни Сахары. Создание плотины на р. Убанга позволит вырабатывать до 30-35 ГВт/час электроэнергии (Odada et al., 2006). Планируется, что в результате переброски на р. Убанга будет улучшена навигация, также предполагается использовать канал, соединяющий р. Убанга и приток р. Шари, с целью транспорта товаров и услуг в регионе. По расчетам в связи с переброской становится возможным орошение около 5-7 млн. га земель в регионе (Onyekakeyah, 2008). Данная мера поддержала бы десятки миллионов голодающих в центральной Африке и области Сахель.

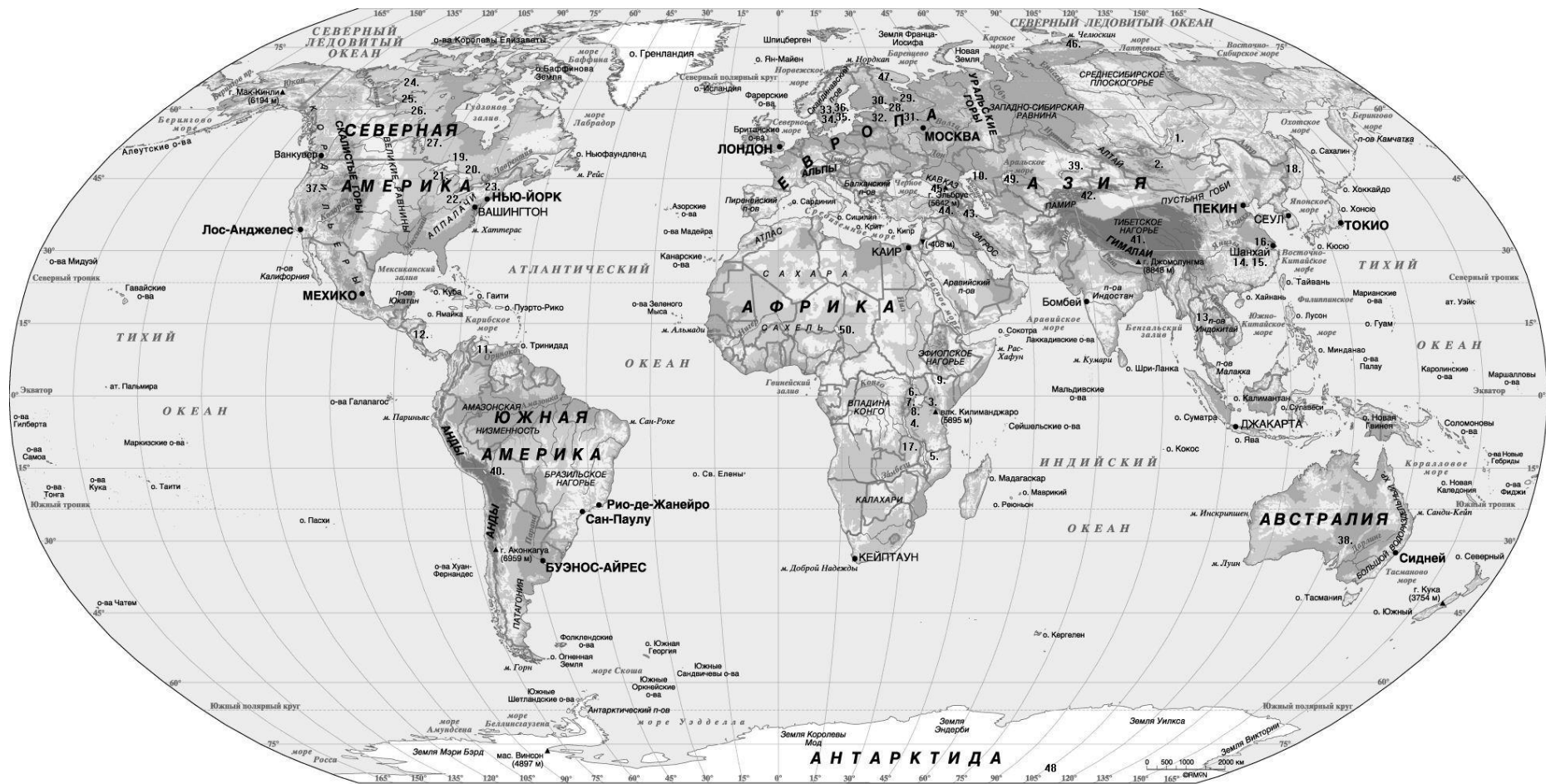
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представляемой монографии нами рассмотрены 50 крупнейших озер мира (рис. 9.1), выделенных благодаря их значительным размерам, уникальности экосистем, а также благодаря социально-экономическому, рекреационному и эстетическому значению этих водоемов в жизни людей, проживающих на их берегах. Учитывая природное и социальное значение выбранных озер, мы позволили себе в данной книге именовать их «Великими». Согласно приводимым оценкам суммарный объем воды, содержащейся в рассматриваемых озерах, составляет  $165595 \text{ км}^3$  (в том числе  $81338 \text{ км}^3$  солоноватой и соленой и  $84257 \text{ км}^3$  пресной). Данная величина, однако, не включает объем воды антарктического озера Восток, поскольку официальных оценок таковой на сегодняшний день не приводится. Основываясь на опубликованных данных сейсмического зондирования, можно предположить, что объем содержащейся в оз. Восток воды составляет от  $5500$  до  $8000 \text{ км}^3$  ( $6500 \text{ км}^3$ ). Это позволяет отнести данное глубочайшее рифтовое озеро к крупнейшим озерам мира как по площади, так и по объему. С учетом данной приблизительной оценки, суммарный объем пресных вод Великих Озер мира составляет  $90500 \pm 1500 \text{ км}^3$ , а суммарный объем пресных, солоноватых и соленых вод -  $172000 \pm 1500 \text{ км}^3$ . Эти озера вмещают около  $\frac{3}{4}$  вод, содержащихся во всех озерах мира, если принимать за основу суммарные величины озерных вод, приводимые в работе Wetzel (1975), в том числе 74% пресных и 78% солоноватых и соленых. Основная масса солоноватых вод сконцентрирована в Каспийском море, а основная масса пресных содержится в глубочайших рифтовых озерах – Байкале, Танганьике, Ньясе, Востоке и в Великих Американских Озерах (рис. 9.2). Вследствие разницы глубин (рис. 9.3) градиация озер по величине площади их водного зеркала (рис. 9.4) существенно отличается от градиации по объемам водных масс. При этом ряд озер, расположенных, прежде всего, в бассейнах крупнейших рек, может сильно варьировать по площади в различные периоды года. Примерами могут служить оз. Тонлесап, Бангвеулу и Донгтинг, которые при значительном разливе покрывают водой площадь, превышающую  $10000 \text{ км}^2$ , тогда как в межень их размер не превосходит нескольких тысяч квадратных километров.

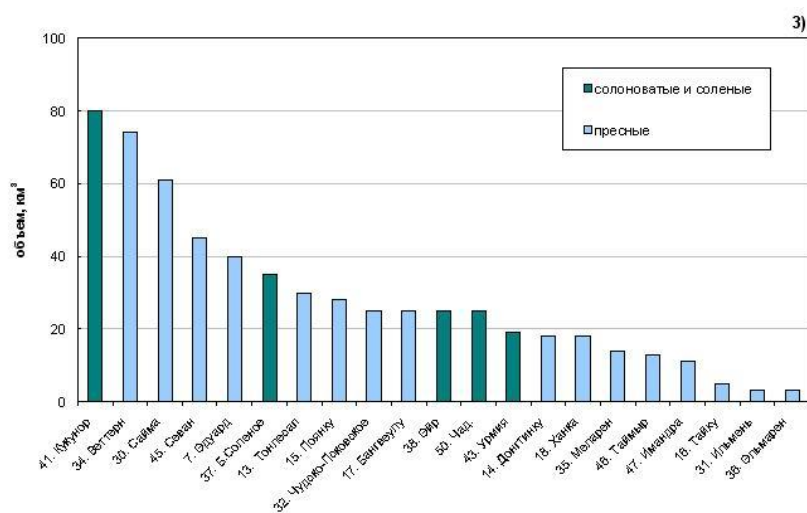
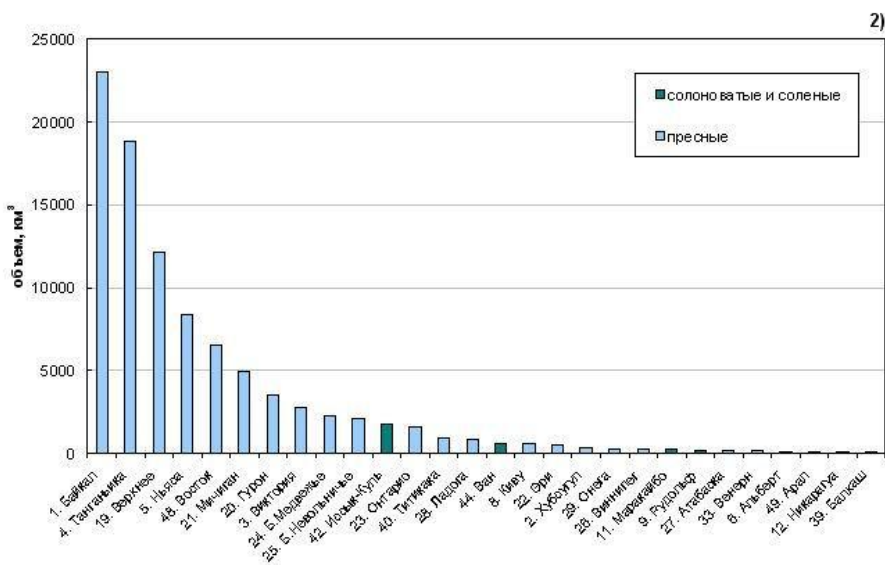
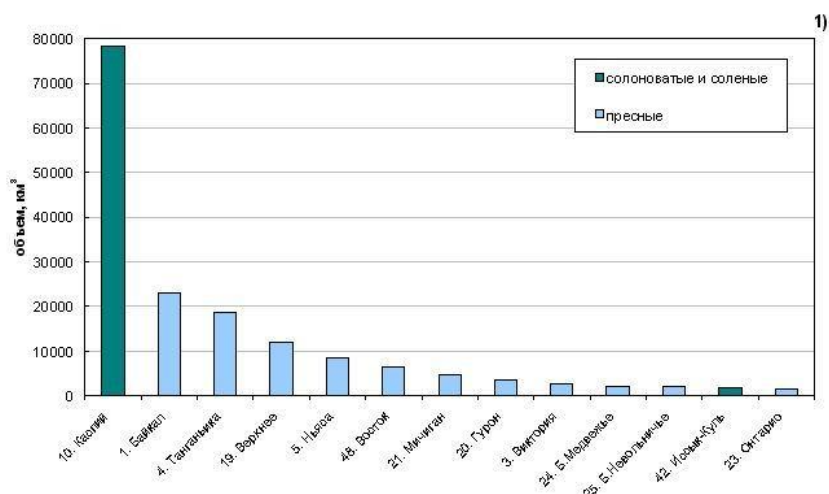
Необходимо отметить, что наибольшее количество озер на Земном шаре расположено в умеренной и субарктической зоне Северного полушария (севернее  $50^\circ$  с.ш.) и связано с деятельностью последнего четвертичного (Валдайского или Висконсинского) оледенения или находится в областях распространения многолетней мерзлоты. Наряду с огромным количеством малых и средних озер здесь расположено 17 крупнейших озер мира, рассматриваемых в данной книге. Несмотря на это, основная масса озерной воды приходится на широтную зону от  $30^\circ$  до  $50^\circ$  с.ш., где находится крупнейшее солоноватое озеро Земли – Каспийское море. Наряду с ним на севере этой широтной зоны расположены и Великие Американские Озера, приносящие в общий объем свою значительную долю пресной воды. Большие объемы воды содержатся в Великих Африканских озерах (в диапазоне  $10$  градусов от экватора), при этом общее количество озер в данной широтной зоне не велико. Значительное количество чистой пресной озерной воды находится также в широтной зоне  $10$ - $30^\circ$  ю.ш. и южнее южного полярного круга, под антарктическим ледниковым щитом.

Среди континентов наибольшим объемом озерных вод характеризуется Евразия. Только в Великих озерах здесь сконцентрировано  $105856 \text{ км}^3$  воды, что составляет более 60% от объема воды во всех рассмотренных озерах. При этом 74% сосредоточено в Каспийском море, около 25% приходится на крупнейшие Азиатские озера и лишь около 1% – на Европейские. В крупнейших озерах Африки и Северной Америки сконцентрировано, соответственно, 18 и 16% от объема воды Великих озер мира (рис. 9.5), в Южно-Американских – менее 1%, в оз. Восток (Антарктида) – около 4%.

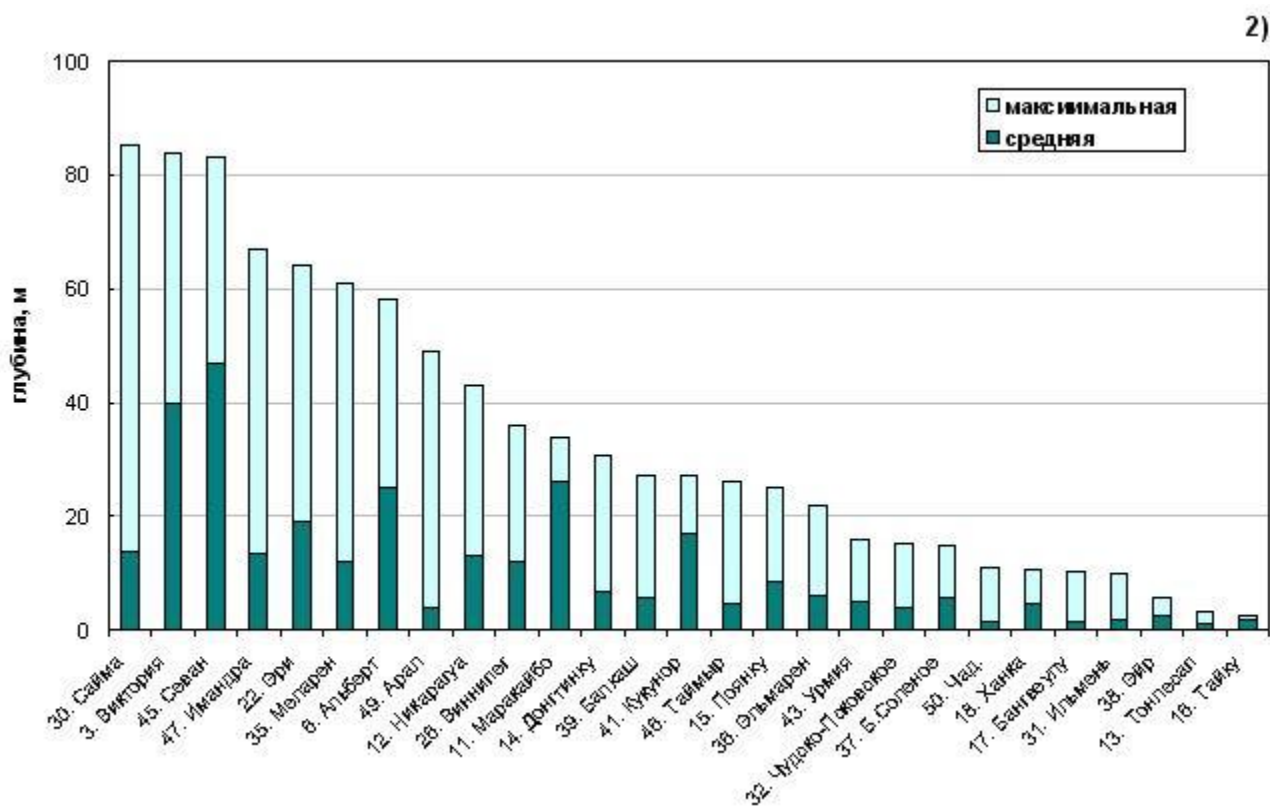
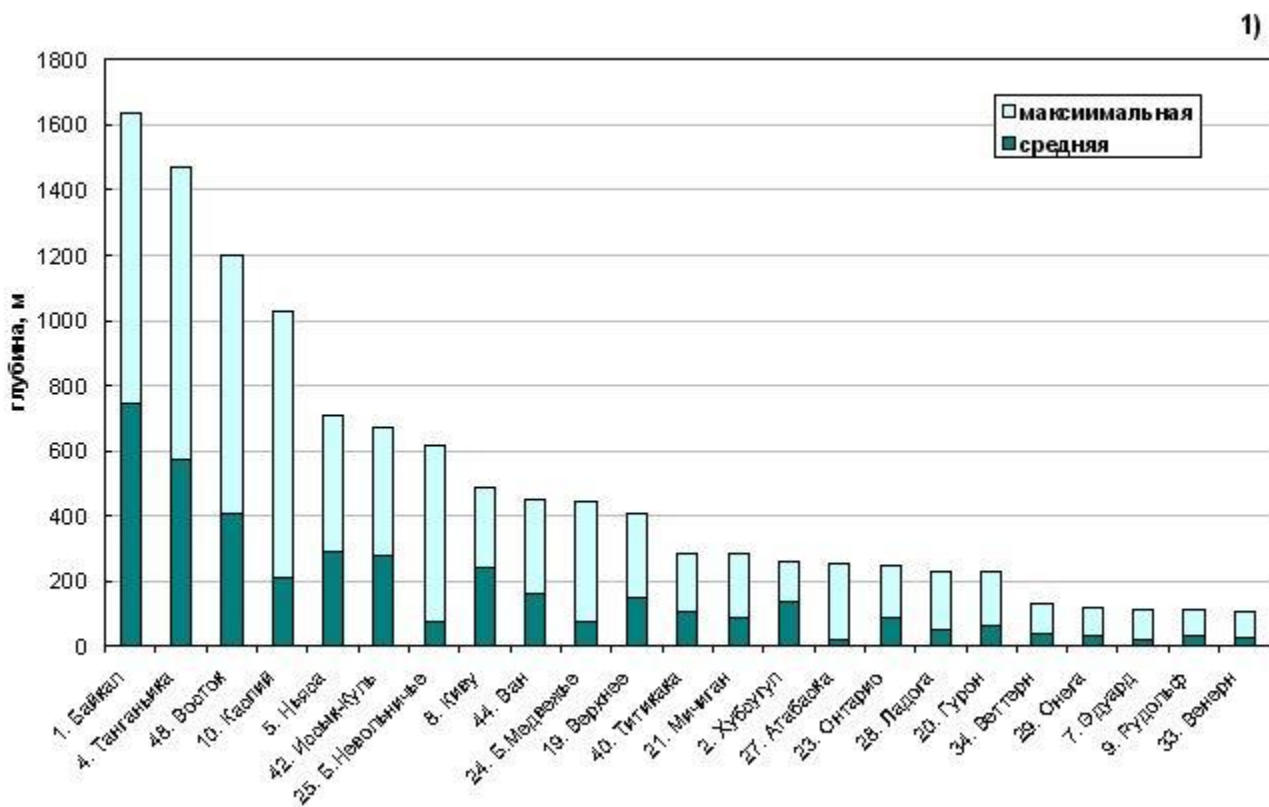
Глубочайшие озера Земли приурочены к рифтовым областям. В большинстве своем это древние водоемы, характеризующиеся богатой фауной, отличающиеся высоко прозрачными водами со слабой минерализацией. Суммарный объем воды, сконцентрированной в крупнейших озерах рифтовых областей, составляет  $54293 \text{ км}^3$  или около  $\frac{1}{3}$  от всего объема воды Великих озер мира (рис. 9.6). К рифтовым озерам относится также подледное оз. Восток, однако в силу его чрезвычайной специфики оно рассматривалось нами наряду с озерами высоких широт.



**Рис. 9.1.** Цифрами на карте обозначены озера: 1 – Байкал; 2 – Хубсугул; 3 – Виктория; 4 – Танганьика; 5 – Ньяса; 6 – Альберт; 7- Эдуард; 8 – Киву; 9 – Турхана; 10 – Каспий; 11 – Маракайбо; 12 – Никарагуа; 13 – Тонлесап; 14 – Донгтинг; 15 – Поянху; 16 – Тайху; 17 – Бангвеулу; 18 – Ханка; 19 – Верхнее; 20 – Гурон; 21 – Мичиган; 22 – Эри; 23 – Онтарио; 24 – Б. Медвежье; 25 – Б. Невольничье; 26 – Атабаска; 27 – Виннипег; 28 – Ладога; 29 – Онега; 30 – Сайма; 31 – Ильмень; 32 – Чудско-Псковское; 33 – Венерн; 34 – Веттерн; 35 – Меларен; 36 – Эльмарен; 37 – Б. Соленое; 38 – Эйр; 39 – Балхаш; 40 – Титикака; 41 – Цинхай; 42 – Иссык-Куль; 43 – Урмия; 44 – Вае; 45 – Севан; 46 – Таймыр; 47 – Имандра; 48 – Восток; 49 – Арал; 50 – Чад.

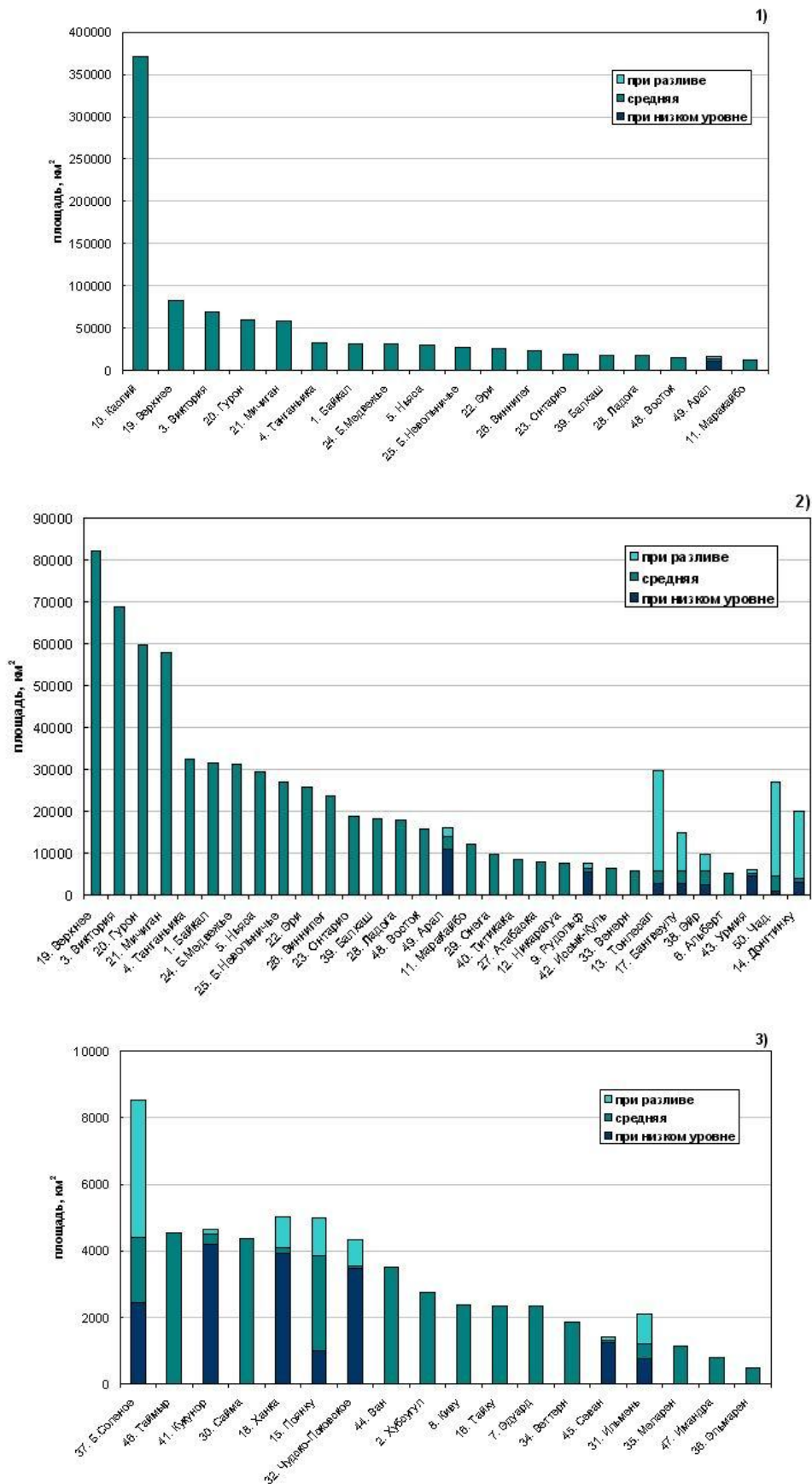


**Рис. 9.2.** Объем воды, содержащейся в Великих озерах мира. Озера: 1) – с объемами, превышающими 1000 км<sup>3</sup>; 2) с объемами, превышающими 100 км<sup>3</sup> (без Каспийского моря); 3) – с объемами менее 100 км<sup>3</sup>. Цифры перед названием озера соответствуют его номеру на карте (рис. 9.1) и порядковому номеру в данной книге.

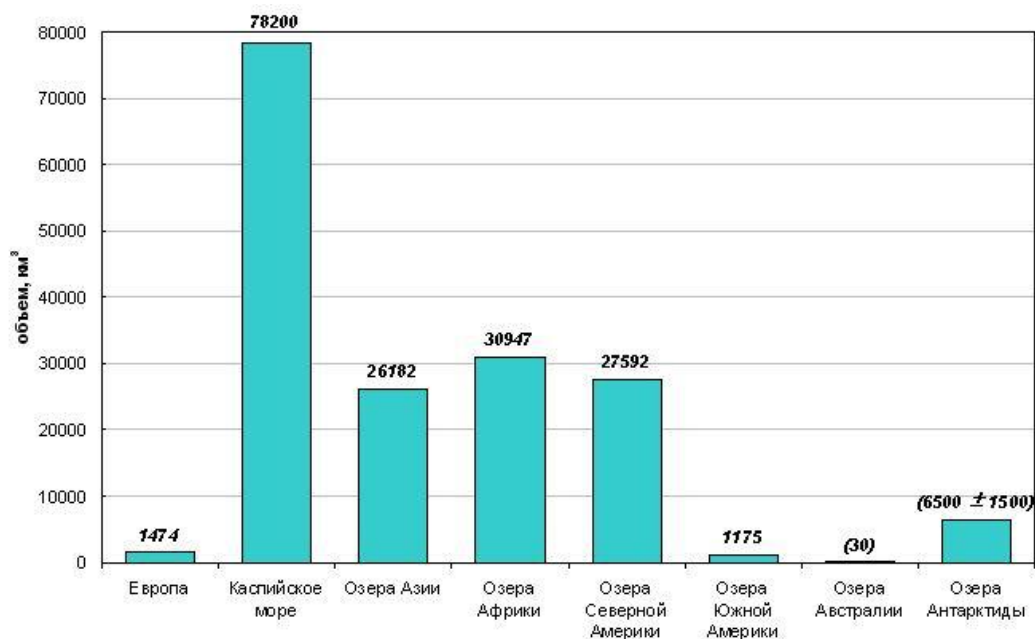


**Рис. 9.3.** Максимальная и средняя глубины Великих озер. Озера: 1) – с макс. глубинами, превышающими 100 м; 2) с макс. глубинами, менее 100 м.

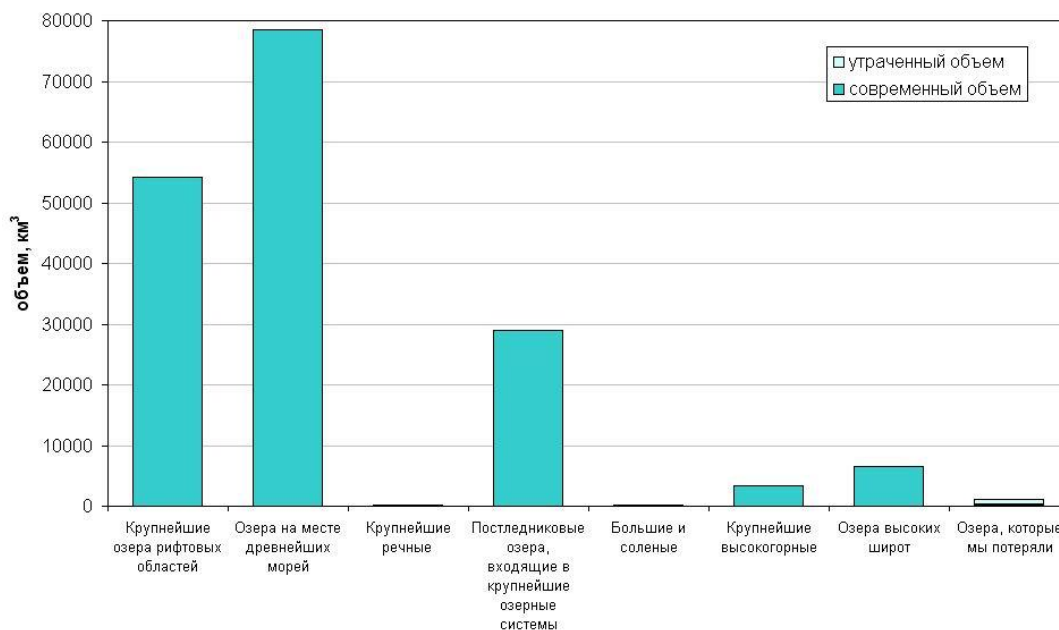




**Рис. 9.4.** Площади Великих озер. Озера: 1) – с площадями, превышающими 10000 км<sup>2</sup>; 2) с площадями, превышающими 5000 км<sup>2</sup> (без Каспийского моря); 3) – с площадями менее 5000 км<sup>2</sup>



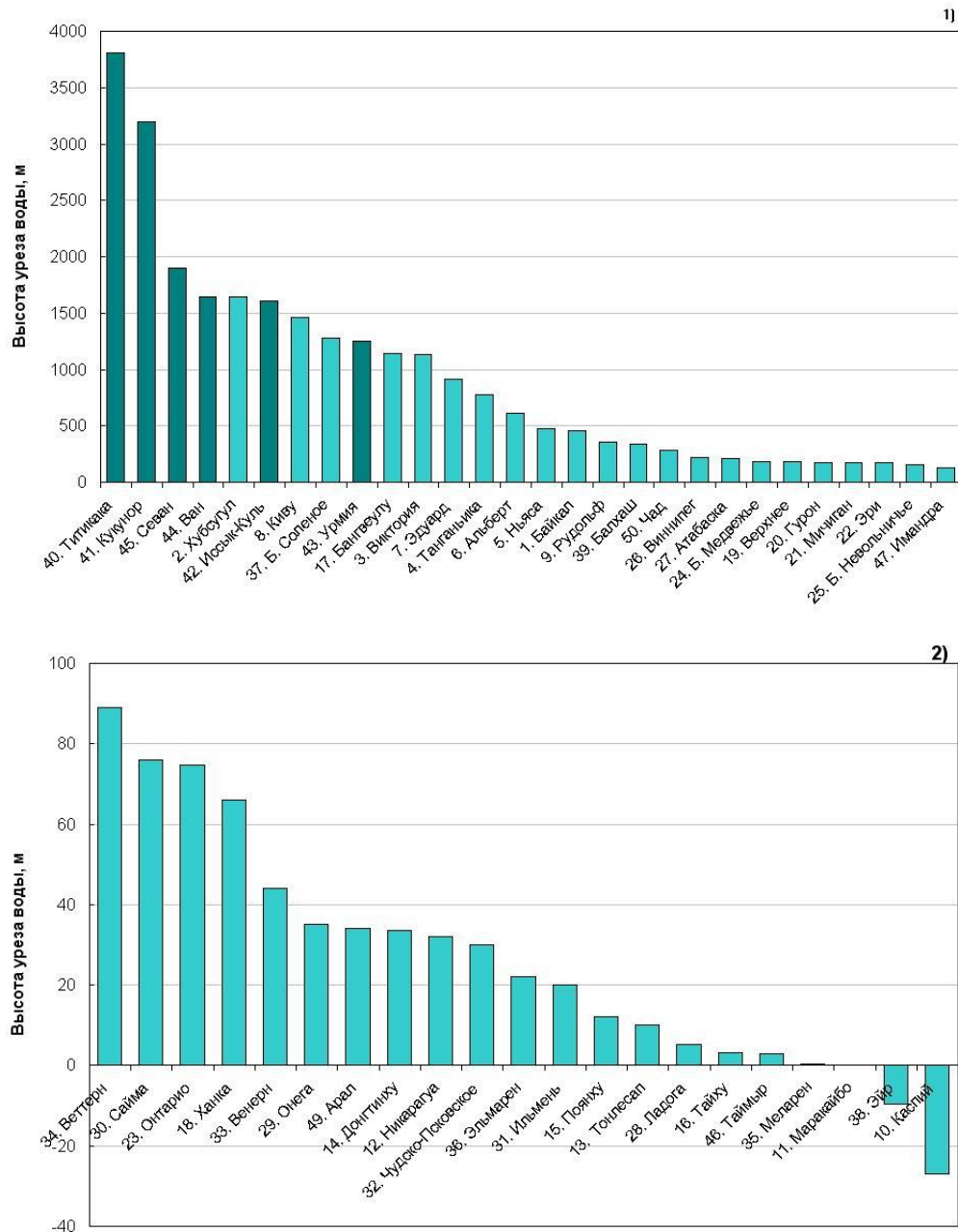
**Рис. 9.5.** Объем воды в Великих озерах по континентам. На рисунке приводятся приблизительные данные объема воды оз. Восток, объем воды в оз. Эйр (Австралия) приводится на период его заполнения.



**Рис. 9.6.** Объем воды Великих озер по выделенным в данной монографии группам.

Большее чем в рифтовых озерах количество воды, содержится лишь в озерах, сформировавшихся на месте древнейших морей (78553 км<sup>3</sup> или 45% от объема воды Великих озер мира). Основная масса этой воды (78200 км<sup>3</sup>) заключена в Каспийском море – остатке древнего моря Тетис. Два из трех крупнейших озер,

включенных в описываемую группу (Каспий и Маракайбо), содержат солоноватую воду и отличаются высоким уровнем естественной трофности. Третье озеро, Никарагуа, включено в данную группу условно, хоть оно и считается остатком древнего морского залива, оно характеризуется пресной водой со средним уровнем



**Рис. 9.7.** Градация Великих озер по высоте уровня уреза воды. Озера: 1) – расположенные выше 100 м; 2) озера, расположенные ниже 100 м н.у.м.

естественной трофности.

Третьей группой по объему содержащейся воды (28912 км<sup>3</sup> или 17% от объема воды Великих озер мира) являются постледниковые озера, оставшиеся на месте последнего четвертичного оледенения. Большинство крупнейших постледниковых озер являются результатом совместного действия ледников, переуглубивших существовавшие до этого дренажные системы ледниковым переплыванием, и подъ-

ема земной поверхности. Многие из них соединены между собой и входят в состав крупнейших озерных систем Земли. В данной монографии приводится информация по 18 наиболее крупным и известным постледниковым озерам. Кроме того, в умеренных широтах северного полушария на месте последнего оледенения расположено еще 32 пресноводных озера, с площадями зеркала, превышающими 1000 км<sup>2</sup>, суммарный объем содержащейся в них воды составляет около 1100 км<sup>3</sup>. В естественном сос-

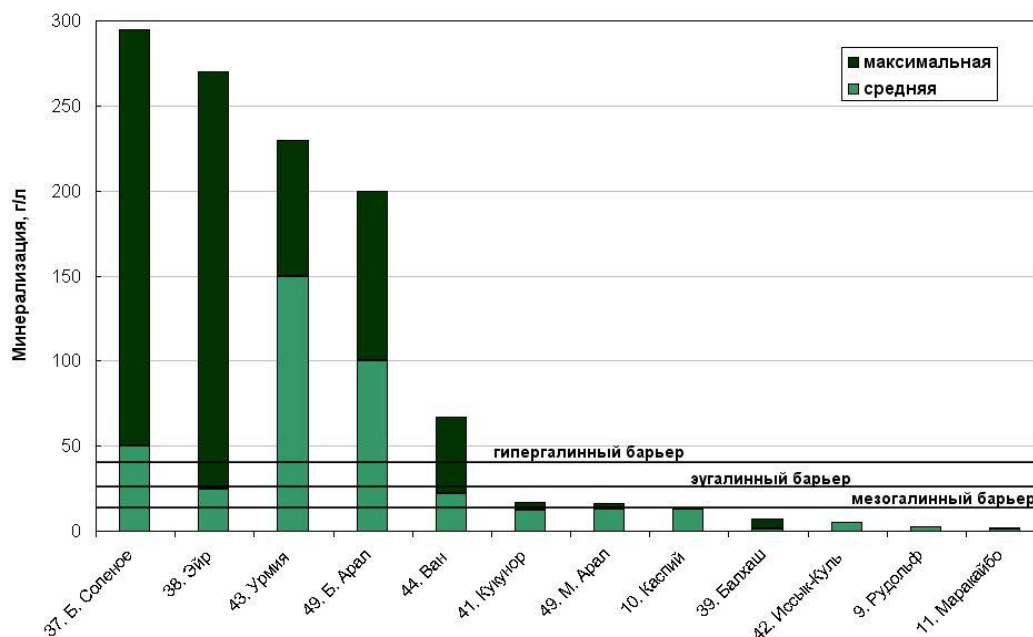


Рис. 9.8. Градация Великих озер по солености.

тоянии большинство постледниковых озер характеризовалось низким уровнем трофности, однако в силу высокого антропогенного давления, оказываемого на некоторые крупнейшие озера в течение XX в., они оказались значительно загрязнены.

Интересной группой являются крупнейшие речные озера. Они расположены в бассейнах крупнейших рек Земного шара и характеризуются значительными колебаниями своей площади, в зависимости от внутригодового режима питающей их реки. Как уже отмечалось выше, в периоды разлива они могут покрывать территории, превышающие 10000-15000 км<sup>2</sup>. Практически все озера данной группы отличаются небольшими глубинами, а потому суммарный объем содержащейся в них воды невелик (всего 124 км<sup>3</sup> или около 0.1% от общего объема воды Великих озер мира). В естественном состоянии большинство озер данной группы характеризовались средним уровнем трофности. Несмотря на то, что многие речные озера располагаются в густо населенных регионах Земли и испытывают на себе колоссальный антропогенный прессинг, их экологическое состояние в силу высоко промышленного режима остается относительно неплохим.

К группе высокогорных озер относятся водоемы, водное зеркало которых расположено на

высоте, превышающей 1200 м (рис. 9.7), со всех сторон они окружены горами, оказывающими значительное воздействие на климатические условия водосбора. В главе «Крупнейшие высокогорные озера» нами рассматриваются только шесть водоемов, два из которых пресноводные, два – солоноватоводные и два – соленые, однако наряду с этими водоемами к крупнейшим высокогорным озерам могут быть отнесены также рифтовые озера – Хубсугул и Киву и Большое Соленое озеро, приводимые в других главах книги. В озерах, рассматриваемых нами в данной группе, сконцентрировано 3388 км<sup>3</sup> воды или около 2% от общего объема воды Великих озер. Поскольку большинство высокогорных озер является бессточными или слабо проточными для них характерна повышенная уязвимость к загрязнениям, даже несмотря на то, что горные водосборы обычно отличаются небольшой степенью заселенности и невысоким уровнем развития экономики и сельского хозяйства, сдерживаемыми природными факторами.

Среди 50 рассмотренных нами крупнейших озер мира 11 относятся к категории водоемов с повышенной степенью минерализации. При этом категория соленых озер включает четыре водоема плюс оставшееся после распада Аральского моря оз. Большой Арал, а категория солоноватоводных – 6 водоемов плюс Малый Арал (рис. 9.8). Большинство соленых озер

рассматривались нами наряду с пресными в соответствующих главах книги: в главе «Крупнейшие высокогорные» - оз. Ван, Урмия, Кукунор и Иссык-Куль, в главе «На месте древнейших морей» - оз. Каспий и Маракайбо, в главе «Крупнейшие рифтовые» - оз. Рудольф и в главе «Озера, которые мы потеряли» - оз. Арал. В главе «Большие и соленые» приводятся данные лишь по 3 озерам: наиболее минерализованным – Большому Соленому и Эйр, а также уникальному водоему, характеризующемуся смешанной минерализацией его разных частей – оз. Балхаш. Суммарный объем воды, содержащейся в этих трех озерах, составляет 171 км<sup>3</sup>. Для большинства солоноватых озер характерен повышенный уровень естественной трофности и многообразие животного мира. Чрезмерно высокая минерализация сдерживает развитие биоты, в связи с этим соленые озера характеризуются небогатым видовым составом. В годы повышенной водности, когда такие озера получают огромный приток пресных вод, их минерализация резко снижается, преодолевая гипергалинный барьер, в результате наблюдается расцвет водной флоры и фауны.

Отдельную главу книги нами была выделена группа озер высоких широт, включающая два арктических и одно антарктическое озеро. Количество крупных озер высоких широт, расположенных севернее полярного круга значительно больше, еще 8 озер имеют площади, превышающие 800 км<sup>2</sup>, однако характерной особенностью большинства этих озер является низкая степень изученности. Рассматриваемые нами два российских озера – Таймыр и Имандра представляют уникальные экосистемы, изучением которых активно занимались отечественные ученые. Антарктическое оз. Восток, как уже отмечалось выше, крупнейший резервуар чистой воды на Земле. Несмотря на то, что сведений о нем пока очень мало, в силу его уникальности не включить его в число Великих Озер мира просто невозможно.

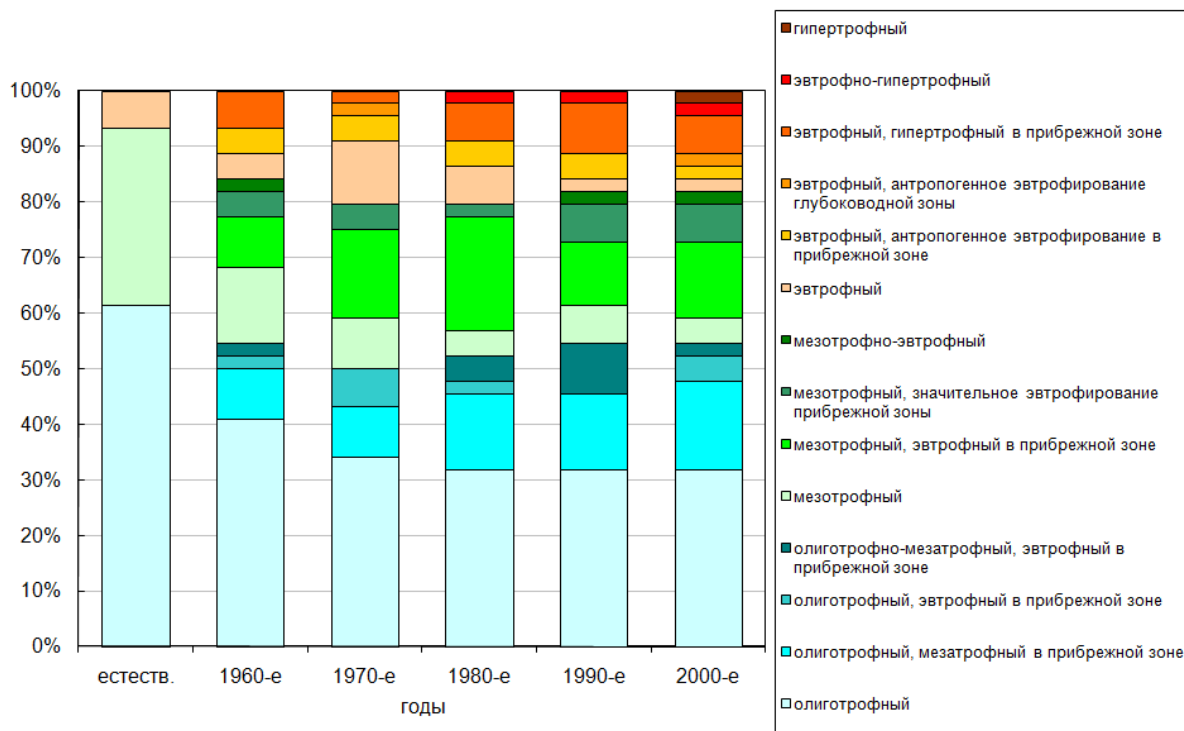
Последняя глава книги посвящена двум величайшим трагедиям XX века – озерам Арал и Чад, утратившим в силу чрезмерной антропогенной активности на их водосборах большую часть своей акватории. Сокращение площади Аральского моря на протяжении последних 50 лет составило около 50 тыс км<sup>2</sup>, площадь оз. Чад примерно в это же время уменьшилась на 25 тыс км<sup>2</sup>, при этом потери

воды в объемном выражении составляли 970 и 80 км<sup>3</sup>, соответственно. Если перспектива восстановления оз. Чад связывается с переброской воды р. Убанга (бассейн р. Конго) по р. Шари, что позволит не только наполнить озеро, но и обеспечить огромные потребности водопользователей на его водосборе, то Аральское море в его прежнем виде утрачено нами навсегда. Переброска Убангийских вод встречает положительный отклик не только у стран, расположенных в бассейне оз. Чад, но и в Демократической Республике Конго и Республике Конго, заинтересованных в развитии гидроэнергетики на своей территории. В тоже время, необходимое для восстановления Аральского моря снижение водозабора в странах его бассейна губительно для их экономики, а возникавшая ранее идея переброски в Арал стока северных Российских рек является нерентабельной и бессмысленной. Поэтому на сегодняшний день оптимистичные прогнозы связаны лишь с судьбой Малого Арала, сохранение которого признается одной из важнейших экологических задач Казахстана, тогда как перспективы сохранения водоемов, оставшихся на месте Большого Арала, весьма сомнительны.

### **ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВЕЛИКИХ ОЗЕР ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ**

Чрезмерная антропогенная активность, наблюдавшаяся на протяжении большей части XX в., привела не только к количественным потерям озерного фонда, но и значительно ухудшила качество воды большинства крупнейших озер мира. Собственно единственным нетронутым на сегодняшний день крупнейшим водоемом Земли является уникальное антарктическое оз. Восток. В связи с этим становятся понятна чрезвычайная озабоченность мирового научного сообщества, связанная с возможным завершением в летний сезон 2011-2012 гг. российскими учеными бурения скважины до поверхности озера. Все остальные Великие озера на протяжении второй половины XX в. в той или иной степени испытывали на себе антропогенный стресс. В том числе даже такие озера как Таймыр, Б. Медвежье, Хубсугул, Рудольф, Бангвеулу и Эйр, водосборы которых остаются на сегодняшний день наименее затронутыми хозяйственной активностью.

К основным последствиям антропогенной



**Рис. 9.9.** Процент озер различной трофности среди Великих Озерах мира.

активности применительно к крупнейшим озерам мира относятся эвтрофирование, заиление и токсическое загрязнение. Процессы эвтрофирования и заиления водоемов характерны и в естественных условиях, однако их скорость значительно увеличивается за счет хозяйственной активности на водосборе, причем при высокой степени антропогенного воздействия темпы деградации некоторых водоемов становятся катастрофическими. В отличие от эвтрофирования и заиления процесс токсического загрязнения водоемов является исключительно результатом антропогенной деятельности. В силу особенностей подстилающих пород ряд токсичных элементов может встречаться и в природных водах, однако масштабного характера токсическое загрязнение достигло только с активным развитием промышленности. Еще одно последствие антропогенной активности – ацидификация на крупнейших озерах практически не проявляется, поскольку рассматриваемые водоемы характеризуются высокой степенью буферности.

#### ***Антропогенное эвтрофирование***

Проблемы антропогенного эвтрофирования в той или иной мере затронули на сегодняшний день большинство крупнейших озер мира. На

рис. 9.9 приведено процентное соотношение Великих озер мира различной трофности, рассчитанное за период 1960 – 2010 гг., а также их естественная трофность. На рис. 9.10 представлен трофический статус их водных масс, в объемном выражении. Поскольку чуть менее половины всех вод, содержащихся в крупнейших озерах, заключено в Каспийском море, на рис. 9.11 отдельно приводится трофический статус водных масс, содержащихся в пресноводных озерах.

Наиболее быстро процессы антропогенного эвтрофирования происходили в мелководных водоемах, как тропических широт, так и умеренной зоны. В тропических озерах они еще более усиливались постоянно высокими температурами, способствующими быстрому протеканию биологических процессов. Среди рассмотренных нами крупнейших водоемов мира в результате антропогенного воздействия эвтрофно-гипертрофный статус к началу XXI в. приобрели оз. Тайху (ср. глубина около 2 м) и часть Чудско-Псковского озерного комплекса (ср. глубина около 4 м). Гипертрофного статуса к концу XX в. достигли и более глубокие озера, находящиеся под значительным антропогенным прессом, среди них - оз. Альберт (ср. глубина 25 м), оз. Маракайбо (глубина 26 м), оз. Виктория (ср. глубина 40 м). Существенное



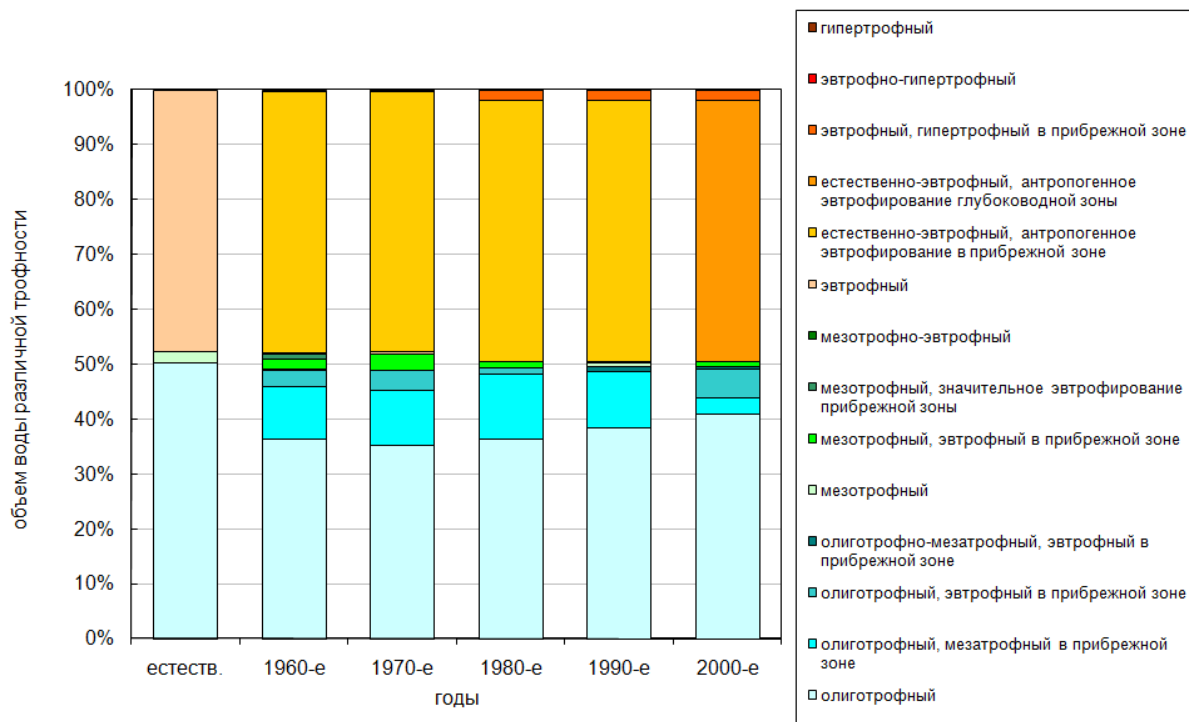


Рис. 9.10. Трофический статус водных масс Великих озер.

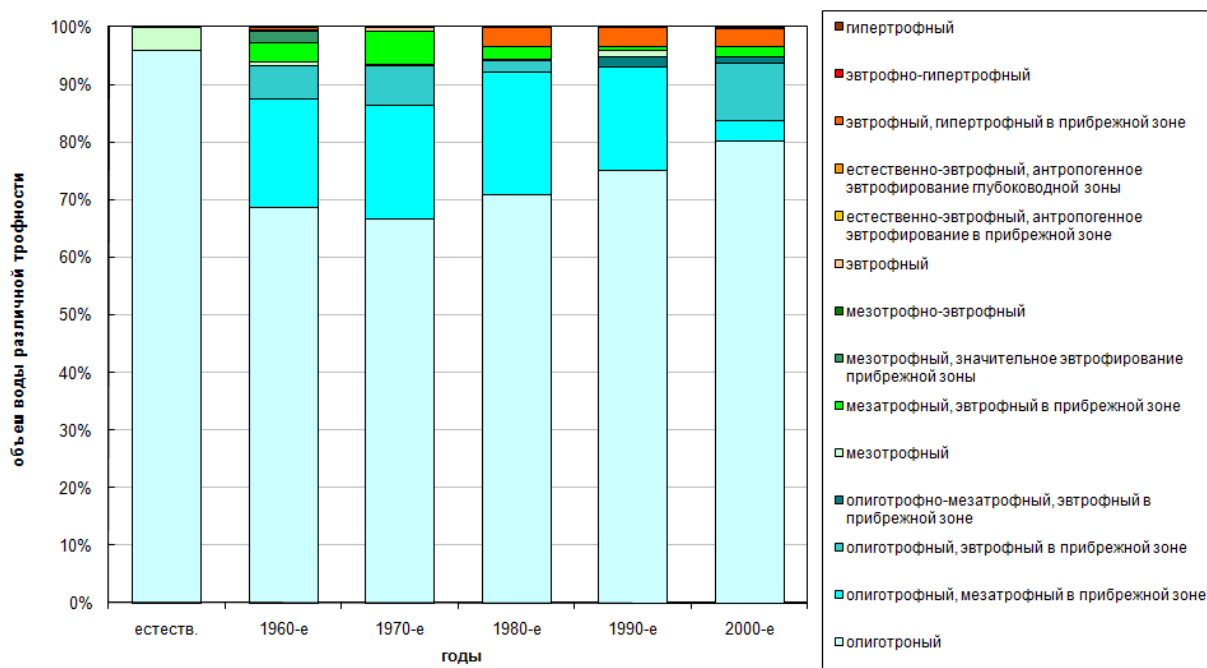


Рис. 9.11. Трофический статус водных масс пресноводных Великих озер.

эвтрофирование наблюдалось также на самом крупном внутреннем водоеме – Каспийском море, характеризующемся естественно-эвтрофным статусом. Причем если на протяжении второй половины XX в. антропогенное эвтрофирование захватывало лишь прибреж-

ную зону этого озера, то на рубеже XX и XXI в. оно перекинулось и на глубоководную зону (рис. 9.10). В 1960-70-е гг. эвтрофно-гипертрофного статуса достигало и наиболее мелкое из Великих Озер – Эри (ср. глубина 19 м). С конца 1970-х гг. в результате принятых прави-

тельствами США и Канады мер, состояние оз. Эри начало улучшаться. Согласно данным Конференции по Великим Озерам, прошедшей в 2003 г. Западный бассейн оз. Эри возвращается к олиготрофному состоянию, хотя его фитопланктонное сообщество пока еще по своему видовому составу отвечает характеру мезотрофного водоема.

Связанное с антропогенным фактором эвтрофирование наблюдалась также в мелководных китайских озерах Донгтингху и Поянху (ср. глубины 6.7 и 8.4 м). Однако, поскольку оба озера расположены в бассейне крупнейшей р. Янцзы, и являются в этой связи высокопроточными, они по большей части своей акватории оставались мезотрофными, несмотря на высокую степень заселенности водосбора (плотность населения на водосборе – 60 и 270 чел/км<sup>2</sup>) и активное развитие здесь сельского хозяйства. Резкое повышение трофности на озерах наблюдалось в годы низкой водности. Так, значительное ухудшение качества воды отмечалось в 2000-е гг., и было связано с завершением строительства выше по течению р. Янцзы дамбы «Три Ущелья» и с заполнением созданного водохранилища полезной ёмкостью 22 км<sup>3</sup>, в результате чего сток по Янцзы был резко сокращен.

В больших глубоководных озерах, содержащих огромные массы воды, процессы эвтрофирования проявлялись преимущественно локально, затрагивая мелководную зону. Слабая степень антропогенного эвтрофирования наблюдалось на озерах, водосборы которых населены сравнительно мало (оз. Байкал, Хубсугул), а также на наиболее глубоких Великих Озерах, где начавшийся процесс ухудшения качества воды был достаточно быстро приостановлен благодаря своевременному принятию мер. Небольшое эвтрофирование, охватывающее в основном прибрежную зону, наблюдалось и на глубочайших Великих Африканских озерах - Танганьике, Ньяса и Киву, в бассейнах которых плотность населения очень высокая, а обработка сточных вод практически не производится. Огромные массы воды этих озер и высокая скорость процессов самоочищения уменьшают негативные последствия антропогенного воздействия.

Благодаря тому, что именно в глубочайших озерах сосредоточена основная масса пресной воды, суммарная величина олиготрофных вод, содержащихся в Великих озерах, достаточно

велика и составляет на уровень 2000-х гг. около 80% суммарного объема воды крупнейших пресноводных озер мира (рис. 9.11). За последние десятилетия эта величина даже увеличилась, благодаря улучшению состояния Великих Американских Озер и крупнейших озер Швеции. В естественном состоянии доля олиготрофных вод составляла 96%.

Обсуждая вопросы антропогенного эвтрофирования водоемов, расположенных в различных регионах мира, необходимо отметить, что наиболее жесткие последствия этот процесс имеет в тропических странах, характеризующихся:

- высокими температурами, способствующими быстрому развитию биоты;
- значительными осадками, определяющими высокие нормы вымывания биогенного вещества;
- высокой плотностью населения, увеличивающей степень антропогенного прессинга на природные ресурсы;
- отсутствием должного экологического законодательства и соответствующих институтов, что не позволяет своевременно реагировать на возникающие проблемы;
- низким уровнем экономического развития, в силу которого для принятия адекватных мер не хватает средств.

Интересно, что в экономически слабо развитых странах наиболее сложным, по всей видимости, является снижение биогенных стоков, имеющих коммунальное происхождение, при этом именно коммунальные стоки представляют наибольшую опасность, являясь источником возникновения различного рода эпидемий. Первым условием для принятия действенных мер по снижению биогенного притока с коммунальными стоками является строительство систем канализации, а вслед за ними систем очистки коммунальных стоков, что требует значительных финансовых вложений. Повальная бедность, примитивное жилье, очень высокие темпы прироста населения, отсутствие систем контроля и скоординированных действий различных организаций не позволяют охватить системами канализации даже уже построенное жилье, не говоря о постоянно возникающих новых поселениях.

Из-за быстрого роста городов, существующие системы канализации не справляются с постоянно растущим объемом стоков, часто происходит их прорыв и перелив сточных вод. Кроме того, во время ливней часть нечистот попадает в грунтовые воды и в плохо защищенные колодцы, используемые для питьевого водоснабжения. Даже при наличии целевого международного финансирования, направленного на строительство очистных систем, осуществить должную очистку коммунальных стоков обычно не удается. Большинство вводимых в эксплуатацию систем практически сразу не успевает справиться с очисткой постоянно увеличивающегося объема стоков, выходят из строя и не работают по несколько месяцев.

Необходимо признать, что решение задачи по сокращению биогенного притока в озера с коммунальными стоками в большинстве африканских и ряде азиатских стран на ближайшее время мало вероятно. Одним из направлений международного финансирования, осуществляемого с целью улучшения экологического состояния крупнейших озер тропической зоны, является в последнее время борьба с нищетой населения, проживаемого в их бассейнах, поскольку уже имеющийся опыт в этом направлении показал, что без решения проблемы нищеты решение других вопросов практически невозможно.

Проблемы снижения биогенной нагрузки на водоемы, расположенные в умеренной зоне решаются значительно более успешно, особенно в странах с высоко развитой экономикой. Основная биогенная нагрузка на водоемы умеренной зоны обычно происходит за счет сельскохозяйственных стоков, и вызывается активным использованием на водосборе удобрений, направленным на повышение урожайности выращиваемых культур. Доля коммунальных стоков в дополнительном привносе в водоем биогенного вещества существенно ниже. Вошедшее уже в норму с 70-80-х гг. XX в. жесткое ограничение биогенного притока при строгом соблюдении выработанных нормативов и неуклонном соблюдении законодательства обычно приводят к хорошим результатам и улучшению экологического состояния озер, даже тех из них, на которых в 1960-70 е гг. наблюдалось значительное повышение уровня трофности. Скорость реолиготрофикации зависит при этом не только от масштаба принятых мер, но и от специфических особенностей самого водоема,

то есть от его природной способности к самоочищению. Для мелководных и слабо проточных водоемов характерна замедленная реакция на предпринимаемые водоохранные меры, связанная с накоплением в их донных отложениях огромных объемов биогенных веществ, являющихся в дальнейшем их поставщиком обратно в воду. Восстановление таких водоемов представляет собой более сложную задачу.

### ***Ускоряющееся заиление водоемов***

Наряду с эвтрофированием, важнейшей проблемой современной лимнологии является ускорение процессов заиления озер, вызванное антропогенной деятельностью. Особо серьезный характер процессы заиления также носят в тропических и субтропических широтах, где, в последние десятилетия, они порой достигают колоссальных размеров. Горный рельеф, обилие осадков, мягкие, легко размываемые почвы способствуют значительной эрозии и поверхностному смыву, резко увеличивающимися по мере сведения лесов и их замещения сельскохозяйственными землями. Необходимо отметить тот факт, что нормы вымывания при сведении тропических лесов в сравнении с лесами умеренной зоны существенно выше. В результате вместе с почвенным покровом в водоемы поступает и огромное количество биогенного вещества, которое более не используется древесной растительностью. Ситуация с заилением усугубляется также слабой сельскохозяйственной практикой, характерной для развивающихся стран тропической зоны. К особо серьезным последствиям приводит сведение деревьев на крутых склонах и в непосредственной близости к водоемам.

На сегодняшний день заиление, вызванное антропогенной деятельностью, в той или иной степени испытывает на себе большинство крупнейших озер Африки, Латинской Америки и тропической Азии. Среди наиболее пострадавших водоемов Африки – озера Виктория, Танганьика, Ньяса, Киву, Турхана. Негативное проявление заиления особенно заметно в приустьевых участках этих водоемов. Происходящее вдоль побережья быстрое осадконакопление угрожает биологическому разнообразию прибрежной зоны, приводит к уменьшению привычных сред обитания и нарушает существующие здесь биотопы. Кроме того, привносимые в озеро частицы почв, содержат значительное количество биогенного матери-

ала, ускоряя процессы эвтрофирования прибрежной зоны. Прогрессирующее заиление африканских озер – процесс, проявляющий себя относительно недавно, лишь с конца XX века, и пока еще не нашедший никакого практического решения. На Американском континенте наблюдается усилившееся заиление озер Никарагуа и Танганьика.

Большинство крупнейших тропических озер юго-восточной Азии имеет речное происхождение, процессы седиментации в таких озерах происходят иначе, чем в слабо проточных. Так, на оз. Тонлесап, несмотря на значительные масштабы сведения лесов в его бассейне и связанную с ним деградацию почвенного покрова, темпы седиментации увеличились незначительно. Большая часть привносимого ила оседала не в озере, а на затопляемых землях, где использовалась растительностью, таким образом, угроза заиления водоема была не столь велика, напротив, ил являлся важной частью озерной экосистемы, обеспечивающей питательную среду. Схожая отчасти картина наблюдалась и на крупнейших озерах, расположенных в бассейне р. Янцзы. Осадконакопление является одной из важнейших проблем этих озер, однако его скорость была не настолько велика, как можно было бы ожидать, поскольку значительная часть наносов уносилась рекой вниз. В тоже время, возросшее за XX век заиление, часто приводило к исчезновению небольших озер, расположенных в бассейне Янцзы. По мере сокращения объема крупнейших озер, количество исчезающих озер-спутников увеличивалось. Активные меры по предотвращению седиментации были предприняты в Китае с начала 1980-х гг. Лесонасаждения и строительство дамб позволили существенно сократить осадконакопление. Значительное его снижение последовало после завершения строительства крупнейшей дамбы «Три ущелья». Только за первые 4 месяца 2003 г. (июнь-сентябрь) в результате заполнения водохранилища в нем аккумулировалось около 100 млн. тонн наносов, что привело к снижению скорости отложения осадков в оз. Донгтинг в 2003 г. с 10 до 4.7 мм/год (Dai et al. 2005).

### ***Токсическое загрязнение***

Токсическое загрязнение является, пожалуй, одним из самых опасных проявлений антропогенного воздействия на озера и водные экосистемы, приводящим к отравлению водной

среды и ее живого населения. Токсические загрязнители обычно поступают в водоемы со сточными водами и атмосферными осадками. Природные воды или не содержат токсикантов или их количество не превышает концентрацию, опасную для существования гидробионтов. Бурное развитие промышленности, имевшее место с конца XIX, начала XX века, привело к загрязнению природных вод целым комплексом токсикантов различной природы. Наряду с токсическими веществами естественного происхождения, такими как тяжелые и цветные металлы, благодаря успехам химии в водные объекты поступило большое количество синтезированных ксенобиотиков (нефтепродуктов, пластмасс, полициклических и галогенированных ароматических углеводородов, пестицидов, синтетических поверхностно-активных веществ и др.). Несмотря на то, что далеко не все ксенобиотики являются ядовитыми или токсичными, в силу своей чужеродной природы они способны вызвать нарушение биологических процессов или, вследствие биотрансформации, образовывать токсичные метаболиты. Загрязненная токсикантами вода превращается из среды жизнеобеспечивающей в среду агрессивную и враждебную для нормального развития гидробионтов, в которой изменяются процессы формирования состава и структуры биоценозов, а также динамика популяций отдельных видов.

Процесс токсического загрязнения природных вод происходил по мере развития промышленного производства, поэтому раньше других от него начали страдать водоемы, расположенные в наиболее экономически развитых странах мира. Большинство государств Европы, Северной Америки, ряд стран Азии столкнулись с проблемами токсического загрязнения уже в первой половине XX века, тогда как на 1960-70-е гг. приходился пик максимального загрязнения природных вод. Осознание масштаба возникших проблем привело к разработке экологического законодательства, существенному ограничению производства и использования ряда наиболее опасных синтезированных веществ, к введению систем многоступенчатой очистки сточных вод. В результате, уже с начала 1980-х гг. на многих водоемах Европы, Азии и Америки наблюдалось существенное снижение поступления токсикантов. Скорость, с которой удавалось справиться с проблемой токсического загрязнения, была пропорциональна степе-

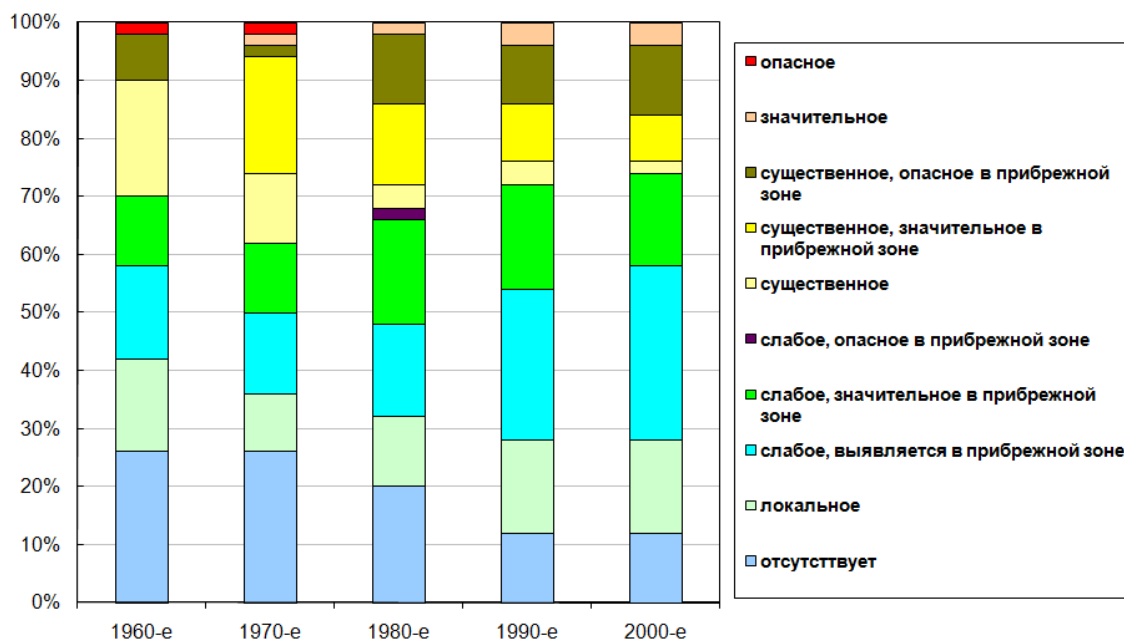


Рис. 9.12. Процент Великих Озер с различным статусом токсической загрязненности

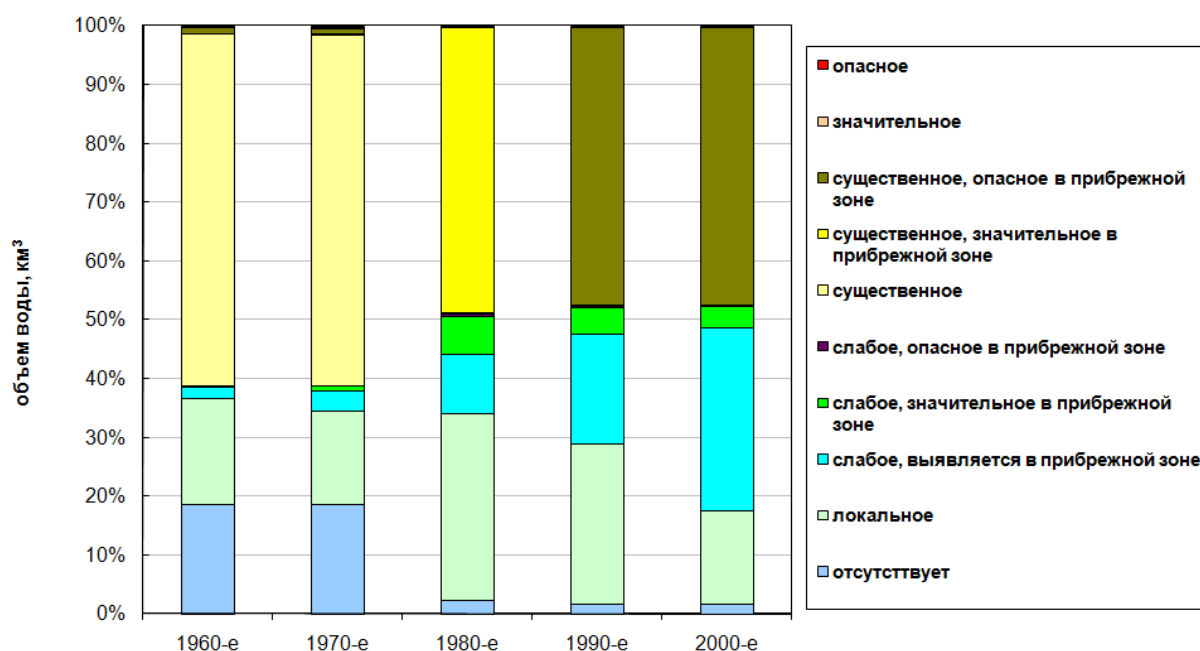
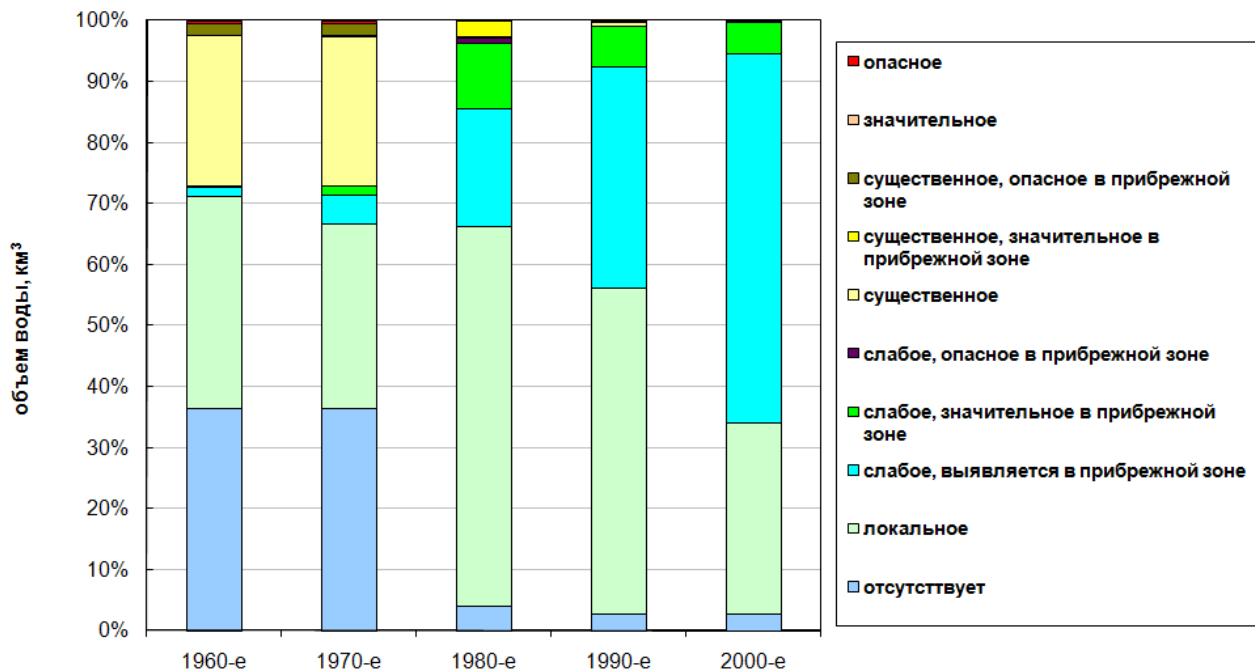


Рис. 9.13. Объемы водных масс Великих Озер по степени их токсической загрязненности.

ни экономического развития государства, определяющего как его финансовые, так и технические возможности, жесткости разработанных законодательных инициатив, а также их поддержке большей частью населения.

Итоговые данные по изменению токсической загрязненности рассматриваемых в книге озер за период 1960 – 2010 гг. приводятся на рис.9.12, на котором представлено процентное соотношение озер различной степени загряз-



**Рис. 9.14.** Объемы водных масс пресноводных Великих Озер по степени их токсической загрязненности

ненности за рассматриваемый период, а на рис. 9.13 – объемы воды, содержащейся в Великих озерах, по степени их токсической загрязненности. Поскольку чуть менее половины всех вод, содержащихся в крупнейших озерах, заключено в Каспийском море, на рис. 9.14 отдельно приводятся данные по загрязненности пресноводных Великих Озер.

Во второй половине XX в. среди крупнейших озер мира наиболее загрязненными токсическими веществами оказались Великие Американские Озёра. Регион Великих Озер является одним из наиболее экономически развитых и густонаселенных регионов Северной Америки. Основное загрязнение Великих Озер происходило в 1960-е - начале 1970-х гг., когда значительно ухудшилось качество воды практически всех озер. Даже на расположенном в верхней части системы озере Мичиган в конце 1960-х гг. сложилась ситуация, вынудившая закрыть пляжи его южного побережья и залива Грин Бей. Основными загрязнителями озера явились незаконные промышленные сбросы предприятий Чикаго и Милуоки, содержащие в огромных количествах такие опасные загрязнители, как цианиды, фенолы, органические растворители, смазочные материалы, газолин, нефтепродукты и др. Центральные

части озер Мичиган, Верхнее и Гурон продолжали оставаться относительно чистыми, однако и здесь наблюдалось присутствие загрязняющих веществ. В 1965-1967 гг. управление водных ресурсов штата Висконсин обследовало несколько тысяч рыб, относящихся к 35 видам, выловленных в ряде водоемов штата, в том числе в озерах Верхнее и Мичиган. Хлорированными углеводородами было загрязнено около 70% всех выловленных рыб, в каждой из проб были обнаружены ДДТ или аналогичные ему ядохимикаты, применяемые в сельском хозяйстве при борьбе с насекомыми-вредителями. Но наиболее катастрофические последствия токсического загрязнения имели место в двух нижних озерах - Эри и Онтарио, получающих стоки как с собственных частных водосборов, так и из верхней части системы. Озеро Эри является наиболее мелким среди всех Великих Озер, и, вместе с тем, наиболее населенным, в результате чего на него пришлась основная масса промышленных стоков. В 1960-е гг. в его воду, а впоследствии в донные отложения, поступило огромное количество ионов тяжелых металлов, ртути, консерогенов, ДДТ, бензопирин, РСВs, и пр. Огромные масштабы загрязнения оз. Эри крайне негативно отразились и на качестве воды расположенного ниже оз. Онтарио, в



которое также поступило громадное количество консерогенов, ДДТ, бензопирин, РСВb, а также ртуть и свинец.

Столкнувшись с катастрофическими масштабами загрязнения Великих Американских Озер, правительства США и Канады с начала 1970-х годов стали вкладывать огромные средства в изучение возникших проблем и разработку способов борьбы с ними. Между двумя странами было подписано соглашение «Great Lakes Water Quality Agreement». После введения в 1972 г. строгих ограничений и запретов на производство наиболее экологически опасных видов продукции, общее производство только семи основных видов токсичных соединений было снижено более чем на 70% (ЕС 1999, ЕС 2000, ЕС 2001). Было запрещено использование синтетических моющих средств, содержащих фосфор, в пределах водосбора. Ряд сточных вод, ранее попадавших в озера, были отклонены в бассейн р. Миссисипи. Благодаря ужесточению законодательной базы были существенно сокращены аварийные разливы нефти (Global Environment..., 2002). В результате уже с середины 1980-х гг. вода озер стала визуально чище, значительно уменьшилось содержание тяжелых металлов и органических элементов, уровень заражения рыб и птиц резко снизился. К концу XX в. состояние всех озер существенно улучшилось, однако ряд вопросов продолжает оставаться нерешенным до сих пор.

Наряду с Великими Озерами существенных успехов в 1970-2000-е гг. удалось добиться при восстановлении крупнейших скандинавских озер. Улучшилось и состояние крупнейших озер Европы – Ладожского и Онежского. В последние десятилетия удалось стабилизировать быстро растущее во второй половине XX в. токсическое загрязнение озер Китая. Вместе с тем в ряде крупнейших озер Евразии проблема растущего токсического загрязнения остается по-прежнему нерешенной. Прежде всего, это касается мелководных водоемов как, например, оз. Ханка. Существенное загрязнение проявляется в прибрежной зоне среднеазиатских озер. Токсическое загрязнение имеет также место и на некоторых достаточно крупных северных озерах России (оз. Имандра).

Большинство африканских и ряд беднейших азиатских стран серьезно столкнулись с проблемами токсического загрязнения природ-

ных вод только к концу XX в. Еще в 1970-80-е гг. вопросам токсического загрязнения здесь уделялось мало внимания. На ряде крупнейших озер начальное загрязнение фиксировалось, однако значительных негативных последствий не отмечалось. Основными загрязнителями большинства тропических озер являлись тяжелые металлы, поступающие в воду со стоками шахтных вод (разработка полезных ископаемых производится в бассейнах всех крупных озер тропической зоны), а также химикаты и пестициды, выносимые с полей. Размер загрязнения оставался практически неизученным. К концу XX в. стало очевидным, что огромную опасность представляют также содержащие патогенные организмы сточные воды крупных населенных пунктов, попадающие без какой либо обработки в водоемы, обеспечивающие в дальнейшем питьевой водой миллионы людей. В большинстве беднейших стран тропической зоны очистка воды, используемой в питьевых и бытовых целях, фактически не производилась, что приводило к возникновению очагов различных инфекций, усиливающихся по мере укрупнения поселений.

К началу XXI в. вопросам токсического загрязнения в развивающихся странах стало, наконец, уделяться больше внимания. Его наиболее ранние оценки были выполнены в середине 1990-х гг. на оз. Виктория, в результате в воде и донных отложениях зал. Мванза были обнаружены, хоть и в неопасных количествах, следы таких тяжелых металлов как хром, свинец, кадмий, медь и цинк (Kishe and Machiwa, 2001). Чуть позднее, в начале 2000-х гг. вблизи основных городов, расположенных на побережье озера, было выявлено уже существенное повышение содержания тяжелых металлов, имеющих промышленное происхождение. Наряду с тяжелыми металлами отмечался рост концентрации в воде пестицидов. С конца XX в., опираясь на накопленный опыт развитых стран, развивающиеся государства также начали вводить на промышленных предприятиях системы очистки стоков. Однако в силу нехватки средств и экономической отсталости, вводимые системы очень редко соответствовали необходимым требованиям, большинство промышленных стоков оставались плохо очищенными или неочищенными.

Еще одним загрязнителем Больших Афри-

канских озер в последнее время стали нефтепродукты, попадающие в воду за счет аварийных ситуаций на водном транспорте и с переливных станций. Однако в ближайшее время масштабы нефтезагрязнения могут стать в данном регионе значительно более опасными. Так, в случае разработки обнаруженных недавно месторождений нефти в глубинных пластах Угандийского побережья и в донных отложениях оз. Альберт нефтяное загрязнение может стать серьезной проблемой для этого водоема, также как сегодня оно является основным загрязнителем другого тропического озера - Маракайбо, расположенного в экономически более благоприятном регионе. Продолжающаяся уже около столетия нефтедобыча и нефтепереработка на этом южноамериканском водоеме привела к его значительному токсическому загрязнению, наблюдения со спутников подтверждали наличие на поверхности воды регулярных нефтяных пятен (Hu Ch et al., 2003). Практически все нефтяные пятна достаточно быстро убирались, однако регулярные разливы успевали нанести значительный ущерб экологии озера. В условиях Африканского континента, особенно его центральной части, где большинство государств относятся на сегодняшний день к категории беднейших стран мира, нефтедобыча даже в значительно меньших масштабах может привести к куда более серьезным последствиям. Единственная надежда на то, что разработка нефтяных месторождений способствует подъему экономики, что позволяет, в конце концов, выделять необходимое количество средств и на экологический мониторинг.

Токсическое загрязнение озер тропической зоны, где обработка сточных вод практически отсутствует, является колоссальной экологической опасностью, масштабы которой пока до конца не очевидны. Значительное отставание темпов промышленного производства в рассматриваемом регионе позволяет надеяться на то, что процесс загрязнения будет идти не столь быстро, как в свое время в Европе и Америке, вместе с тем, техническая и финансовая отсталость не позволяет рассчитывать не только на принятие адекватных мер, но и на возможность своевременно осознать масштаб опасности. Уже накопленный опыт промышленно развитых стран в данном случае едва ли сможет значительно пригодиться, из-за нехватки

средств, технических возможностей, иной системе приоритетов и отсутствия скоординированных действий, характерных для большинства государств тропической зоны.

### **ВОПРОСЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОЗЕР**

На фоне катастрофически быстрых темпов снижения качества воды крупнейших озер Земли, являющихся важнейшим резервом легко доступной пресной воды, вопросы восстановления озер выходят в современной лимнологии на передний план. Беспрецедентный опыт улучшения качества Великих (Американских) озер, а также озер Скандинавии внушают оптимизм. Вместе с тем, положительный результат, которого удалось добиться буквально за несколько десятилетий, потребовал от правительств стран, разделяющих эти водоемы, колоссальных усилий и материальных затрат. Комплекс предпринятых мер включал:

- Строгие ограничения и запреты на производство наиболее экологически опасных видов продукции;
- Введение многоступенчатых систем очистки на всех предприятиях;
- Обеззараживание коммунальных стоков;
- Строительство коллекторных сетей и переброски наиболее опасных стоков за пределы водосбора;
- Контроль за применением удобрений, пестицидов и гербицидов;
- Изменение сельскохозяйственной практики;
- Управление животноводческими стоками;
- Контроль за состоянием почв и многое другое,

В случаях, когда проводимых на водосборе мер было недостаточно, проводился также комплекс мероприятий непосредственно на озерах. Для реализации всех указанных мер была выработана строгая законодательная политика, направленная на охрану водных ресурсов. Предпринятые усилия позволили фактически вернуть и Великие Озера, и крупнейшие озера Скандинавии к изначальному уровню трофности и существенно улучшить качество их воды, понизив токсическое загрязнение до допустимых пределов. Несмотря на то, что определенный уровень загрязненности по-прежнему сохраняется и ряд вопросов

продолжает пока еще оставаться нерешенным, на сегодняшний день можно определенно говорить о достижении сбалансированности и устойчивости восстановленных озерных экосистем. К сожалению, большинство других крупнейших озер находятся в регионах менее благоприятных в финансовом отношении. В этом случае невозможность принятия полного комплекса необходимых мер значительно замедляет процесс восстановления озер.

Значительно хуже обстоят дела с восстановлением озер, расположенных в беднейших тропических регионах. Реализация необходимых мероприятий здесь возможна в весьма ограниченном объеме. Даже при попытках их частичного проведения, реальные темпы строительства, например, очистных сооружений, значительно отстают от существующих потребностей и не успевают за растущим антропогенным прессингом. В результате к моменту завершения строительства очистных сооружений их мощностей начинает не хватать для очистки всего объема возросших к этому моменту стоков, значительно превышающих запланированные. Огромные сложности возникают также и из-за того, что большинство крупнейших тропических озер являются пограничными водоемами. Отсутствие скоординированной политики еще более замедляет проведение необходимых мероприятий.

Наряду с экономическими факторами, на замедление процессов восстановления озер значительное воздействие оказывают и природные факторы. Наиболее простым примером может служить более сложная очистка мелководных озер в сравнении с глубоководными. Одной из причин более медленного восстановления таких озер является наличие на их дне большого количества минеральных и органических осадков, которые накапливают в себе огромные объемы поступающего в водоем биогенного вещества, становясь в дальнейшем их поставщиком обратно в воду. В отличие от глубоководных озер придонные слои воды в мелководных озерах вовлечены в процесс перемешивания значительную часть года, так что поступление, например, биогенного вещества в верхние слои озера, где оно подпитывает фитопланктонные сообщества, происходит достаточно легко. Повышенной чувствительностью к антропогенной нагрузке обладают также северные водоемы, их экосистемы характеризуются чрезвычайной хрупкостью, быстро реагируют на изменения,

например, фосфорной нагрузки, и крайне медленно восстанавливаются.

В связи с вышесказанным становится ясно, что накопленный положительный опыт по восстановлению водоемов далеко не всегда может быть воспроизведен в условиях других стран. Между тем разработка экологической политики, пусть даже на начальном уровне, крайне необходимо на всех крупнейших озерах Земли. Определенные усилия в этом направлении предпринимаются и всячески поддерживаются мировым сообществом. С этой целью происходит финансирование Международных Программ, направленных на изучение и улучшения качества воды крупнейших озер, прежде всего пограничных водоемов. При этом надо отметить, что большинство беднейших стран наиболее охотно включаются в программы, направленные на восстановление рыбного сообщества озер, так как рыбная ловля является для них важнейшей отраслью экономики, обеспечивающей пропитанием широкие слои населения. Опасность токсического загрязнения и чрезмерной эвтрофикации водоемов осознается ими значительно хуже.

При современных темпах антропогенного развития вопрос экологического состояния крупнейших озерных экосистем является чрезвычайно важным. Избранные пути его решения будут определять возможности дальнейшего развития человеческой цивилизации, и отвечать за ее выживание.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Абрамова Т.А. К позднеголоценовой истории Аральского моря / Т.А. Абрамова // Вест. МГУ. - 1979. - Сер. 5. № 3. - С. 19-26
- Абих Г.В. Геология Армянского нагорья (Восточная часть) Орографическое и геологическое описание / Г.В. Абих (перевод Коленко Б.З.) // Записки Кавказского отделения Императорского русского географического общества, книга XXIII. - Тифлис: 1902
- Авинская Е.В. Видовой состав фитопланктона озера Ильмень /Е.В. Авинская // Труды ГосНИОРХ. - 1987. - Т.265. - С.70-83
- Авинский В.А. Зоопланктон: современное состояние и многолетняя динамика / В.А. Авинский // Ладожское озеро, прошлое, настоящее, будущее. - СПб.: 2002. - С.191-202
- Аладин Н.В. Влияние солености Аральского моря на изменения фауны ветвистоусых раков (Cladocera) / Н.В. Аладин, Н.И. Андреев // Hydrobiol. J. 20(3) - 1984. - С. 23-28
- Аладин Н. Биоразнообразие аральского моря и возможные пути реабилитации и сохранения его остаточных водоемов / Н.Аладин, Ф.Миклин, И.Плотников, Д.Кайзер, Д.Пирюлин, А.Смуров, Ж.-Ф.Крето, А.Егоров, Т.Баллаторе, Б.Каримов, З.Ермаханов, Н.Бороффка // Труды международной научной конференции «Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе». - Москва, 19-20 октября 2006 г.
- Аладин Н.В. Высыхание Аральского моря и возможные пути реабилитации и консервации его северной части / Н.В.Аладин, И.С. Плотников // Труды Зоологического института РАН. - 1995. - Т. 262. - С. 3-16
- Аладин Н.В. Угроза крупномасштабной экологической катастрофы на Каспийском море (Сравнительный анализ причин и последствий экологических кризисов на Арале и Каспии) / Н.В.Аладин, И.С.Плотников // Проблемы рыболовства. - 2000. - Т.1. Вып. 2-3. - С.18-41.
- Аладин Н.В. Современная фауна остаточных водоемов, образовавшихся на месте бывшего Аральского моря / Н.В.Аладин, И.С.Плотников // Труды ЗИН РАН. - 2008. - Т. 312, № 1/2. - С. 145-154
- Аламанов С.К. Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии. / С.К.Аламанов, В.М.Лелевкин, О.А.Подрезов, А.О.Подрезов. - Москва – Бишкек: 2006 – С. 188
- АН АрмССР. Институт водных проблем. Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме // Ереван: 1961-62 г.г. - Том I,II,III
- Андреев Н.И. Современный кризис экосистемы Аральского моря как модель эволюции биот / Н.И.Андреев, С.И. Андреева // В кн.: Эволюция жизни на земле. Материалы II международного симпозиума 12-15 ноября 2001 г. Томск. - С.41-43
- Андреева С.И. Эволюция преобразования двусторчатых моллюсков Аральского моря в условиях экологического кризиса / С.И.Андреева, Н.И.Андреев. – Омск: Изд-во Омского педаг. ун-та, 2003. – С. 382
- Андрианов Б.В. История воздействия сельского хозяйства на природу Аральского региона / Б.В.Андрианов //Изв. АН СССР. – 1991 - Сер. № 4. - С. 47-61
- Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. - М.: 2002. - С. 403
- Апонасенко А.Д. Современное состояние озера Ханка по некоторым гидробиологическим и гидрофизическим показателям / А.Д.Апонасенко, В.Н.Лопатин, Л.А.Щур, В.С.Филимонов, В.А.Назаров // Изв. ТИНРО - 2000. - т. 127. - С.535-558
- Аральское море — живое или мертвое? (2009) Web: <http://www.oceanology.ru/arial-sea-dead-or-alive/>
- Асанов А. Состояние запасов рыб озера Ильмень / А.Асанов // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озёр. - СПб.: 2003. - С.442-445
- Асельборн Н. А. Современное состояние пелофильных ценозов Псковского озера / Н.А.Асельборн // Мат. 22 научной конф. по изучению водоемов Прибалтики. - Вильнюс, 1987
- Асланян А.Т. К вопросу о происхождении озера Севан / А.Т. Асланян // Известия АН Армянской ССР, серия естественные науки. - Ереван: 1947. - №8, С. 39-44
- Атлас Байкала / под общ. ред. Г.И.Галазия. - М.: 1993. – С.160
- Аувинен Х. Конкуренция за рыбу между нерпой оз. Сайма и рыбным промыслом / Х.Аувинен, Ю.Юрвелиус, Ю.Коскела, Т.Сипиля // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. - СПб.: 2003. - С. 446-451
- Афанасьев Е.А. Современное состояние экосистемы Псковско-Чудского озера / Е.А.Афанасьев, Л.Ф.Антипова, Н.Я.Концевая, М.М.Мельник, А.Е.Михайлов, С.Г.Тарасова, Е.Н.Смирнова, В.В.Ястремский // Северо-Запад России: проблемы экологии и устойчивого развития. - Псков: 1997. - С. 144-159
- Аширбеков А. Арал: История исчезающего моря / А.Аширбеков И.Зонн. - Душанбе: 2003. – С. 86
- Ащепкова Л.Я. Математическое моделирование про-

- цессов переноса в озере Ханка / Л.Я.Ащепкова, Т.А.Проценко - Владивосток: 1991. - Институт прикладной математики ДВО. – С. 24
- Бабаян Г.Г. Современное экологическое состояние водных объектов республики Армения / Г.Г. Бабаян, К.А. Агабабян // Водные ресурсы. - 2008. - том 35 №2. - С.245-250
- Байкал. Природа и люди. (Энциклопедический справочник) / Отв. ред. К.К.Тулохонов. - Улан-Удэ: 2009. – С. 606
- Балакешова А. (2010) Грязные планы. Озеро Балхаш может повторить судьбу Мексиканского залива? Web: <http://www.centrasia.ru/newsA.php?st=1279571100>
- Барабанщиков Е.И. Динамика численности и биомассы зоопланктона открытой части оз. Ханка / Е.И.Барабанщиков, Б.П. Кожевников // Известия ТИНРО. - 1998. - С.362-374
- Барабанщиков Е.И. Качественный состав зоопланктона озера Ханка / Е.И.Барабанщиков // Геохимические и эколого-биогеохимические исследования в Приамурье. – Владивосток: Дальнаука, 2000. - вып. 10. - С.130-139
- Барабанщиков Е.И. Фауна круглоротых и рыб озера Ханка / Е.И.Барабанщиков, В.А.Назаров, В.Г. Свирский // Известия ТИНРО. - 2006. - том 146. - С.97-110
- Барбашова М.А. Макробентос и его многолетняя изменчивость в открытых районах озера / М.А.Барбашова, Т.Д. Слепухина // Ладожское озеро, прошлое, настоящее, будущее. - Спб.: 2002. - С. 202-210
- Берг Л.С. Аральское море. Опыт физико-географической монографии / Л.С. Берг // Изв. Туркестанского русского географического общества. - 1908. - Т.5. – С. 580
- Блинов Л.К. Гидрохимия Аральского моря. / Блинов Л.К. - М.: Гидрометиздат, 1956. – С.152
- Болгов М.В. Каспийское море. Экстремальные гидрологические события / М.В.Болгов, Г.Ф.Красножон, А.А. Любушкин. - М.: Наука, 2007. – С.381
- Большая Советская Энциклопедия. Бурунди.
- Бондаренко Н.А. Фитопланктон горных озер Восточной Сибири / Н.А.Бондаренко // Изв. Самарского НЦ РАН. - 2006. - т.8 (1). – С.176-190
- Бортник В.И. Современные и прогнозируемые изменения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических условий Аральского моря / В.И. Бортник // Водн. ресурсы. – 1983. – № 5. – С. 3–16
- Бортник В.И. Современное состояние и возможное будущее Аральского моря / В.И.Бортник, В.И.Кукса, А.Г. Цыцарин // Изв. АН СССР., сер. Геогр. - 1991. - №4. – С.62-68
- Бортник В.И. Аральское море / под ред. Чистяева С.П. // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1990. - Том 7. – С. 196
- Булат С.А. Оценка биогеохимического потенциала подледникового озера Восток, Восточная Антарктида, в плане поддержания микробной жизни / С.А.Булат, И.А.Алехина, Ж.Р. Пети., В.Я.Липенков, В.В.Лукин // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. - №76. - С. 106-112
- Вандыш О.И. Зоопланктон / О.И. Вандыш // Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. - М.: 2002. - С. 162-199
- Варданянц Л.А. О происхождении озера Севан / Л.А. Варданянц. - Ереван: Издательство АН Армянской ССР, 1948. – С. 28
- Варенцов Л.Н. Термический и тепловой режим оз. Имандра / Л.Н. Варенцов // Большие озера Кольского полуострова. - Л.: 1975. - С. 290-317
- Васьковский Н. Г. Гидрологический режим озера Ханка / Н.Г.Васьковский. - Л.: Гидрометеоздат, 1978. – С. 174
- Вейнбергс И.Г. О древних береговых линиях и колебаниях уровня Аральского моря / И.Г.Вейнбергс, В.Г.Ульет, В.К. Розе // Вопросы четвертичной геологии. – 1972. - С. 69-88
- Велижанин Е.С. Продуктивность угодий озера Ханка и некоторые причины ее изменения / Велижанин, Е.С.Гусаков // Повышение продуктивности охотничьих угодий. - М.: 1982
- Ветров В.А. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / В.А.Ветров, А.И. Кузнецова - Новосибирск: Изд. СО РАН. НИЦ ОИГТМ, 1997. – С.237
- Виноградов В.Г., Гусаков Е.С. (1998). Паспорт угодья «Озеро Ханка». Wetlands International. Web: <http://wetlands.oopt.info/khanka/index.html>
- Вислянская И.Г. Фитопланктон / И.Г.Вислянская // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. - Л.: 1990. - С.183-192
- Вислянская И.Г. Структура и динамика биомассы фитопланктона / И.Г.Вислянская // Онежское озеро, экологические проблемы. – Петрозаводск: 1999. - С.146-158
- Воляк П. С. О культурной политике / П.С.Воляк // Вокруг Света. - 2009. - №11(2830). - С. 216-217
- Воронихин Н.Н. Водоросли и их группировки в озерах Имандра и Нотозеро (Кольский полуостров) / Н.Н.Воронихин // Тр. Ботан. ин-та АН ССР., Сер. 2. Спорные растения. - М., Л.: 1935. - Вып. 2. - С. 107-150
- Вотинцев К.К. Гидрохимия озера Байкал / К.К. Вотинцев. - М.: Изд. АН СССР, 1961. – С. 311

- Всемирная история / Под ред. А. Белявский, Л. Лазаревич, А. Монгайт. — М.: 1956 - Т. 2, ч. II, гл. XIII.
- Вшивкова Т.С., Сушицкий Ю.П. (2010). Пресноводная флора и фауна бассейна озера Ханка Web: <http://www.fegi.ru/primorye/river/khanka.htm>
- Габриелян А.А. К истории тектонического развития Армении в третичное время / А.А. Габриелян // Москва: Доклады АН СССР, 1946. - т. LIII, №2. - С.143-145
- Галазий Г.И. Байкал в вопросах и ответах / Г.И. Галазий. - М.: Изд. Мысль, 1988. - С.288
- Гаспарян Э. Севан: дожди, жара, коллектор и форель / Э. Гаспарян // Новое время. - 2006. - №26.
- Геворкян А. Ц. Из истории древнейшей металлургии Армянского нагорья / Геворкян А. Ц. - Ереван: Изд. АН Армянской ССР, 1980.
- Генкал С.И. Диатомовые водоросли, новые для планктона озера Хубсугул: Pennatophyceae / С.И. Генкал, Г.И Поповская., О.И.Белых, А.Д. Фирсова // Биология внутренних вод. - Академиздатцентр РАН, 2006. - вып. 3. - С. 3-12
- Герд С.В. Биоценозы бентоса больших озер Карелии / С.В. Герд // Труды Карело-Фин. гос. ун-та., 1949. - Т. 4. - С. 1-197
- География озер Таймыра. Л.: 1985. - С.221
- Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Чудско-Псковское озеро / под ред. проф. А. А. Соколова – Л.: Гидрометиздат, 1983. - С. 162
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1990. - Т. 7: Аральское море. - С.195
- Гинзберг А.С. Геолого-петрографическое описание северо-восточного побережья озера Гокча. "Бассейн озера Севан (Гокча)". Научные результаты экспедиции 1927 г. / А.С.Гинзберг. - Л.: Издательство АН СССР, 1929. - т. I. - С. 159-218
- Глазовский Н. Ф. Основные современные экологические, геополитические и социально-экономические проблемы Каспийского региона / Н.Ф.Глазовский, И.С.Зонн // Изменения природно-территориальных комплексов в зонах антропогенного воздействия. - М.: Изд. Медиа-Пресс, 2006. - С. 79-101
- Глазовский Н.Ф. Аральский кризис / Н.Ф.Глазовский. – М.: Наука, 1990. - С. 3-50
- Грачев М. А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал / М.А.Грачев. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2002. – С.157
- Грезе В.Н. Таймырское озеро / В.Н.Грезе // Изв. ВГО. - 1947. - Т.79. № 3. - С. 289 – 302
- Грезе В.Н. Основные черты гидробиологии озера Таймыр / В.Н.Грезе // Тр. ВГБО. - 1957. - Т.У111. - С. 183 – 218
- Григорян Г. Б. Ланшафты бассейна озера Севан / Г. Б.Григорян. – Ереван: 1984. – С.142
- Гуров Ф.Н. Катастрофические изменения размеров и режима Аральского моря за последние 45 лет / Ф.Н.Гуров, В.И.Кравцова, В.Н.Михайлов // Труды международной научной конференции «Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе». Москва, 19-20 октября 2006 г.
- Гусаков Б.Л. Перед лицом Великих озер / Б.Л.Гусаков, Н.А.Петрова. - Л.: 1987. – С.125
- Гусаков Б.Л. Антропогенное эвтрофирование и состояние озерной экосистемы / Б.Л.Гусаков, Н.А. Петрова // Пути совершенствования природопользования в бассейнах больших озер. Л.: 1990. С. 16-29
- Гюль К.К. Каспийское море. Баку / К.К.Гюль. – Азнефтеиздат, 1956. – С.325
- Гюль К.К. Физические процессы в Каспийском море в связи с колебаниями его уровня / К.К.Гюль, М.И.Абакаров, Т.И.Фурман, Р.Л.Рейфман. - Баку: Изд.ЭЛМ, 1971. – С.223
- Давыдова А.И. Особенности гидрологического и гидрохимического режима озера Балхаш / А.И.Давыдова, Г.В.Позднякова, А.В.Шнитников // Проблемы исследования крупных озер СССР. - Л.: Наука, 1985. - С.239-243
- Даниелян, К. (1996) Проблемы окружающей среды Армении с точки зрения Жизнеспособного Развития Web: <http://news.barev.net/exclusive/285-Uvelichenie-popuskov-iz-armjanskogo-ozera-Sevan-javljaetsja-absolutno-nevernym-resheniem3.html>
- Дашдорж А. Материалы к фауне оз. Хубсугул / А. Дашдорж // Тр. ин-та биологии АН МНР. - 1973. - вып. 8. - С.108-111
- Дмитриевский, Ю.Д. Озера Африки / Ю.Д.Дмитриевский, И.Н.Олейников. - Л.: Гидрометеоздат, 1979. – С.184
- Доброхотова К.В. Некоторые данные о продуктивности гидромакрофитов Аральского моря / К.В. Доброхотова // Ботан. журн. - 1971. – № 12. – С.1759–1771.
- Дольник Т.В. Зоопланктон и зообентос / Т.В. Дольник, Г.А.Стальмакова // Большие озера Кольского полуострова. - Л.: 1975. - С. 317-339
- Доценко О.Н. Зарастание оз. Ильмень / О.Н.Доценко, И.М.Распопов // Информ. бюллетень АН СССР. - 1983. - Т. 58. - С. 21-25
- Духовный В.А. Южное Приаралье – новые перспективы / В.А.Духовный, Юп де Шуттер // Проект



- «Наука для мира» - Ташкент: 2003.
- Забилов Р.Д. Положение и морфометрия озера / Р.Д.Забилов, В.Н.Коротаев // В кн.: Озеро Иссык-Куль. – Фрунзе: 1978. - С.12-20
- Завьялов П.О. Квасисиноптические экспедиционные исследования в западном и восточном бассейнах Аральского моря (октябрь 2005 г.) / П.О.Завьялов, А.Г.Арашкевич, А.Б.Грабовский, С.Н.Дикарев, Г.Джалилов, Ю.В.Евдокимов, Т.В.Кудышкин, А.К.Курбаниязов, А.Т.Матчанов, А.А.Ни, Ф.В.Сапожников, И.Г.Томашевская // Океанология. – 2006. - 46 (5) - С. 750–754
- Захаренков И.С. О лимнологической классификации озер Белоруссии / И.С.Захаренков // Биологические основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики. Минск: 1964. - С.175-176
- Зенкевич Л.А. Биология морей СССР / Л.А. Зенкевич. - М.: Наука, 1963. – С.739
- Зозуля С.С. Оценка современного состояния Ладожского озера по гидробиологическим показателям / С.С.Зозуля, А.А.Матвеев, Г.В.Орешко, О.В.Якунина // Гидрохимические материалы - 1990. - Т.108. - С. 136-146
- Зонн И.С. Каспий: иллюзии и реальность / И.С. Зонн. - М.: 1999. – С.468
- Зотиков И.А. Тепловой режим ледника Центральной Антарктиды / И.А.Зотиков // Информационный бюул. Советской Антарктической Экспедиции. - 1961. - №286 С.16-21
- Зотиков И.А. Тепловой режим ледника Центральной Антарктиды / И.А.Зотиков // Антарктида. Доклады комиссии. - М.: Наука, 1962. - С. 27-40
- Зотиков И.А. Тепловой режим ледникового покрова Антарктиды / И.А.Зотиков. - Л.: 1977
- Зотиков И.А. О генезисе озера Восток: Антарктида / И.А.Зотиков // Доклады РАН. - 2000. - Т. 374, № 6
- Зотиков И.А. Антарктическое подледниковое озеро Восток // И.А.Зотиков. - М.: Научный мир, 2010. – С.148
- Зубов Н.Н. О льдах Арктики и Антарктики / Н.Н. Зубов - М.: изд-во МГУ, 1956. – С.118
- Иванов П.В. Классификация озер по величине и по их средней глубине / П.В.Иванов // Бюл. ЛГУ. - 1948. - № 21. - С. 29-36
- Измайлова А.В. Проблемы изменения озерного фонда в связи с возможными глобальными антропогенными изменениями климата / А.В. Измайлова // Материалы Всероссийской конференции посвященной 90-летию акад. М.И.Будыко «Нерешенные проблемы глобальной климатологии». - С-Пб., 10-11 июня 2010 г. - С. 28-31
- Или-Балхаш — Концепция устойчивого развития. 2004. UNDP Kazakhstan.
- Императорское русское географическое общество Отделение физической географии // Записки Императорского русского географического общества по общей географии. — С-Пб.: типография В. Безобразова, 1867. - С. 582
- Ильящук Б.П. Зообентос / Б.П.Ильящук // Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. - М.: 2002. - С. 200-226
- Исаченко А.Г. Ландшафты / А.Г.Исаченко, А.М. Шляпников. – М.: Мысль, 1989. – С. 505
- История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Гл. ред. А. Ф. Трешников. - Л.: Наука, 1990. – С.280
- История озер Севан, Иссык-Куль, Балхаш, Зайсан и Арал / ред. Д.В.Севастьянов. - Л.: Наука, 1991. – С. 302
- Кайемаа В.М. Защита популяций лосося и управление ею в озере Сайма / В.М.Кайемаа // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. - СПб.: 2003. - С. 452-455
- Капица А.П. Динамика и морфология покрова центрального сектора Восточной Антарктиды / А.П.Капица // Труды Советской Антарктической Экспедиции. - Л.: 1961. - №186 – С.93
- Каплинский М.И. Водный баланс озера Иссык-Куль за многолетний период / М.И.Каплинский, Л.С.Тимченко // Тр.САРНИГМИ. – 1977 - вып.50
- Каспийское море (гидрология и гидрохимия). - М.: Наука, 1986. – С.263
- Касымов А.Г. Каспийское море / А.Г.Касымов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С.151
- Катунин Д.Н. Гидрохимический режим и изменение экосистемы Каспийского моря в XX веке / Д.Н.Катунин // Биологические ресурсы Каспийского моря. – Астрахань: 1992. - С. 160-162
- Качество воды озёр России. (2008). Доклад "О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2007 году" Web: <http://protown.ru/information/hidden/2830.html>
- Квасов Д.Д. Происхождение котловин современных озер и их классификация / Д.Д.Квасов // Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер. - Л.^ 1986. - С.20-27
- Квасов Д.Д. Палеолимнология Арала / Д.Д.Квасов // В кн.: Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. Отв. Ред. Андрианов Б.В. и др. - М.: Наука, 1980.
- Кесь А.С. Палеогеография Аральского моря в позднем плейстоцене / А.С.Кесь // Палеогеография Кас-

- пийского и Аральского морей в кайнозое. - 1983. - С. 97-106
- Кесь А.С. Естественная история Аральского моря и Приаралья / А.С.Кесь // Известия АН СССР. - 1991. - № 4. - С. 36-46
- Кинг Ф. Геологическое развитие Северной Америки / Ф.Кинг. - М.: Изд. Ин. лит-ра, 1961. - С. 299
- Кириллова В.А. Оз. Ильмень / В.А.Кириллова // Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения. - Л.: 1984. - С. 126-144
- Китайский информационный Интернет-центр (2007). Web: <http://russian.china.org.cn/index.htm>
- Клюкина Е.А. Высшая водная растительность Кондопожской губы / Е.А.Клюкина // Лимнология Кондопожской губы Онежского озера. - Петрозаводск: 1986. - С. 150-160
- Кляшторин Л.Б. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности / Л.Б.Кляшторин, А.А.Любушкин. - М.: Изд-во ВНИРО, 2005. - С.258
- Кодяев Т.В. Морфометрическая характеристика оз. Иссык-Куль / Т.В.Кодяев // Изв. ВГО. - 1973. - Т.105, вып.4 - С.362-365
- Кожов М.М. Очерки по Байкаловедению / М.М.Кожов. - Иркутск: Восточно-Сибирское книжное Изд., 1972. - С.254
- Кожова О. М. Экологический мониторинг Байкала / О.М.Кожова, А.М.Бейм. - М.: Изд. Экология, 1993. - С.351
- Кондратьев С.А. Формирование фосфорной нагрузки на Чудско-Псковское озеро с Российской части водосбора / С.А.Кондратьев // Изв. РГО. - 2008. - т.140 (2). С.26-33
- Кондратьев С.А. Моделирование абиотических процессов в системе водосбор – водоем на примере Чудско-Псковского озера / С.А.Кондратьев, С.Д.Голосов, И.С.Зверев, В.А.Рябченко, А.Ю.Дворников. - С-Пб.: 2010. - С.104
- Конурбаев А.О. Ихтиофауна / А.О.Конурбаев // Озеро Иссык-Куль. - Фрунзе: 1978. - С.155-165
- Концепция устойчивого развития Или-Балхашского бассейна // Всемирный саммит по устойчивому развитию. Региональный экологический центр Центральной Азии. - Алма-Ата: 2002.
- Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей / А.Н.Косарев. - М.: МГУ, 1975. - С.272
- Котляков В. В ста метрах от тайны / В.Котляков // Вокруг Света. - 2004. - №2 (2761).
- Кравченко И.Ф. Проблемы землепользования и экологическое состояние бассейна озера Ханка / И.Ф.Кравченко, С. А.Платонова, А. А.Яценко. - 2002.
- Кривошей М.И. Водный баланс озера Иссык-Куль / М.И.Кривошей, Т.П.Гронская // Проблемы исследования крупных озер СССР. - Л.: Наука, 1985. - С.276-280
- Кропоткин П.А. Исследования о ледниковом периоде / Кропоткин П.А. // Записки русского географического общества по общей географии. - СПб.: 1876. - №6. - С.717
- Крохин Е.М. Материалы к познанию озера Умба-озера / Е.М.Крохин, Н.И.Семенович // Материалы к изучению поверхностных вод Кольского полуострова. - Фонды КЕЦ АН СССР. - Апатиты: 1940. - Сб. 1. - С. 151-191.
- Крылов А.В. Современный видовой состав зоопланктона озера Севан в осенний период / А.В.Крылов, С.А.Акопян, А.А.Никогосян // Биология внутренних вод. - 2007. - №4. - С.48-54
- Кузнецов С.С. Происхождение озера Гокча / С.С.Кузнецов // Природа. - 1929. - №78
- Куликова Т.П. Структура и количественные показатели зоопланктона / Т.П.Куликова, М.Т.Сярки // Онежское озеро, экологические проблемы. - Петрозаводск: 1999. - С. 191-211
- Кудерский Л.А. Рыбные ресурсы Ладожского и Онежского озер / Л.А.Кудерский, А.С.Печников, Л.Н.Шимановская // Рыбное хозяйство. Серия «Биопромысловые и экономические вопросы мирового рыболовства: обзорная информация». - ВНИЭРХ - 1997. - Вып. 1. - С.39
- Кудерский Л.А. Экологическое состояние водной системы Онежское озеро - Ладожское озеро – река Нева – Финский залив в канун XXI века / Л.А.Кудерский, В.А.Румянцев, В.Г.Драбкова. - СПб.: 2000. - С.78
- Кулумбаева А.А. Фитопланктон озера / А.А.Кулумбаева // Озеро Иссык-Куль. - Фрунзе: Илим, 1982. - С.1-160
- Лаврентьева Г.М. Исторический обзор гидробиологических исследований оз. Ильмень / Г.М.Лаврентьева // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. - СПб.: 2003. - С. 130-133
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Предварительные соображения об использовании озера Гокча (Севан) для орошения / Ф.Ю.Левинсон-Лессинг // Труды Закавказской комиссии АН СССР. Издание АН СССР и Управления водного хозяйства Армении. - 1929.
- Леонтьев Л.Н. Тектоническое строение и история геотектонического развития Малого Кавказа / Л.Н.Леонтьев // Бюллетень Московского общества испытателей природы. - М.: Отделение геологическое, 1949. - т. XXIV, выпуск 4. - С. 3-36
- Летанская Г.И. Закономерности пространственно-

- временного распределения фитопланктона Ладожского озера / Г.И.Летанская // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. - СПб.: 2003. - С.134-137
- Лимнологические и ихтиологические исследования озера Севан / Севанская гидробиологическая станция. - Ереван, 1985. - т. XX. - С.259
- Лимнология и палеолимнология Монголии / ред. Д.В. Севастьянов, В.Ф.Шувалов, И.Ю.Неуструева - С-Пб.: Наука, 1994. - С.304
- Литвиненко А.В. Региональная экология: эколого-экономические основы рационального использования водных ресурсов Карелии/А.В.Литвиненко, Н.Н.Филатов, П.А.Лозовик, В.А.Карпечко // Инженерная экология. - 1998. - № 6. - С.3-13
- Луконина Н.К. Динамика популяции *Diatomus salinus Daday* в Аральском море / Н. К. Луконина // Зоол. журн. - 1960. - Т. 39. - С. 167-187
- Ляйстер А.Ф. Обзор исследования ихтиофауны озера Гокчи в связи с некоторыми данными об орогидрографическом характере озера / А.Ф.Ляйстер // Памятная книжка Эриванской губернии на 1908 год. - Эривань: 1908.
- Ляйстер А.Ф.. К вопросу о происхождении озера Гокча / А.Ф.Ляйстер // Памятная книжка Эриванской губернии на 1914 год. - Эривань: 1914.
- Ляйстер А.Ф. К вопросу об эксплуатации вод озера Севан / А.Ф.Ляйстер // Известия Кавказского отделения Императорского русского географического общества. - Тифлис: 1914. - т. XXII, №3.
- Ляйстер А.Ф. География Кавказа. Природа и население/ А.Ф.Ляйстер, Г.Ф.Чурсин // Тифлис: Изд. Закавказск. Коммунист. Ун-та им. 26-ти, 1924. - С.352
- Магидович И.П. История открытия и исследования Северной Америки / И.П.Магидович. - М.: 1962. - С.476
- Маев Е.Г. Новые данные по голоценовой истории Аральского моря / Е.Маев, А.Маева, Д.Николаев // Палеогеография Каспийского и Аральского морей в кайнозой. - 1983.- Ч.2. - С. 133-144
- Мамедов Э.Д. Палеоклиматы и эволюция озер в голоцене Закаспия / Э.Д.Мамедов, Г.Н.Трофимов // VII симп. по истории озер, 25-28 ноября 1986 г., Тез. докл. - Ленинград-Таллинн: АН. - С. 212-214
- Манасерьян С. Испаряющиеся миллиарды и застой русского капитала / С.Манасерьян // Кавказский вестник. - 1910.
- Марков Е.С. Озеро Гокча. Географическое описание озера (часть I. География физическая) / Марков Е.С. // Главное управление земледелия и землеустройства, отделение земельного улучшения. Санкт-Петербург. (Реферат А.Ф. Ляйстера, Известия Кавказского отделения Императорского русского географического общества, т. XXI. - 1911.
- Матвеев С.Н. Турция (Азиатская часть — Анатолия). Физико-географическое описание / С.Н. Матвеев. — Москва — Ленинград: Изд-во Академии Наук СССР, 1946.
- Мельник М.М. Многолетние изменения в структурно-функциональной организации планктона и зообентоса в Псковско-Чудском озере / М.М. Мельник, В.В.Ястремский // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер (Труды IV Международного симпозиума по Ладожскому озеру, Великий Новгород, 2002). СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 2003. - С.152-157
- Мешкова Т.М. Суточные миграции зоопланктона в озере Севан / Т.М.Мешкова.-Ереван: Акад. наук СССР, Арм. филиал, 1941.- Известия №3-4 (8-9). - С. 97-115
- Мешкова Т.М. Вынос зоопланктона из озера Севан спускным каналом // Т.М.Мешкова// Изв. Акад. наук Арм. ССР. - Ереван: 1945. - №2 (8-9). - С. 49-58
- Миклин Ф. Восстановление Аральского моря / Ф. Миклин, Н.Аладин // В мире науки. - 2008. - № 7.
- Милановский Е.Е. История формирования впадины озера Севан / Е.Е.Милановский// Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. геологическое. - М.: 1952. - т. XXVII, вып. 3.
- Михайлов В.Н. Посему обмелело Аральское море / В.Н.Михайлов // Соросовский научно-образовательный журнал Науки о Земле. - 1990. - №2. - С. 85-90
- Михин В.С. Рыбы озера Таймыр и Таймырской губы / В.С.Михин // Изв. НИИ озерного и речного рыбного хоз-ва. - 1955. - Т. XXXV. - С. 5 - 43
- Мицкевич О.И. Оценка современного состояния зоопланктона и зообентоса озера Ильмень как кормовой базы рыб / О.И.Мицкевич, Н.И.Волохонская // Новгородская Лаборатория ГосНИОРХ. - СПб.: 2003. - С. 30-39.
- Мицкевич О.И. Акклиматизация и современное распределение ракообразных (Mysidae, Gammaridae) в оз. Ильмень / О.И.Мицкевич, Е.А.Андреева // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. - СПб.: 2003. - С. 162-164
- Молокоедова Е.А. (2002). Приморская погода: Экологическое состояние озера Ханка Web: [www.primogoda.ru/article.aspx?id=29](http://www.primogoda.ru/article.aspx?id=29)
- Моисеенко Т.И. Геохимическая миграция элементов в озере Имандра / Т.И.Моисеенко, В.А.Даувальтер, И.В.Родюшкин. - Апатиты: 1997. - С.128

- Моисеенко Т.И. Гидрохимический режим / Т.И.Моисеенко, Л.П.Кудрявцева, С.С.Сандимиров // Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. - М.: 2002. - С. 33-72
- Мушкетов И.В. Собрание сочинений / И.В.Мушкетов - СПб., 1910-1912. – Вып. 1. 1872-1882 г. - СПб.: типография Императорской Академии наук, 1910. – VI. – С. 614
- Науменко М.А. Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера / М.А. Науменко // ДАН. - 1995. - Т. 345. № 4. - С. 514-517
- Науменко М.А. Новое определение морфометрических характеристик Онежского озера / М.А.Науменко // ДАН. - 2000. - Т. 370. № 3. - С. 393-396
- Науменко М.А. Морфометрия и особенности гидрологического режима Ладожского озера / М.А.Науменко, С.Г.Каретников //Ладожское озеро, прошлое, настоящее, будущее. - СПб.: 2002. - С. 16-49
- Национальный доклад «О состоянии окружающей среды Армении в 2002 году». - Раздел 2, часть IV. - С. 106-108.
- Нечаев В.А. Весенние миграции птиц в долине р. Раздольная (южное приморье) / В.А.Нечаев // Проблемы сохранения водно-болотных угодий международного значения: озеро Ханка. Труды Второй международной научно-практической конференции. — Владивосток: 2006. - С. 158-166
- Николаев В. Прибалхашье / В. Николаев. — Алмата: Кайнар, 1984.- С.155
- Никольский А. М. О фауне позвоночных животных дна Балхашской котловины / А. М. Никольский. - СПб.: Тип. В. Демакова, 1887. – С.130
- Никулина Т.В. Водоросли заповедника "Ханкайский" (Приморский край)/ Т.В Никулина// Чтения пам. Влад. Яковл. Леванидова. - 2003. - вып. 2. - С. 263-271
- Никулина Т.В. К видовому разнообразию водорослей государственного природного биосферного заповедника "Ханкайский" (альгофлора оз. Ханка в районе кордона "сопка Лузанова") / Т.В Никулина// Проблемы сохранения водно-болотных угодий международного значения: озеро Ханка. Труды Второй международной научно-практической конференции. — Владивосток: 2006. - С. 8-21
- НЦ ОМЗ Российское Космическое Агентство. Космический мониторинг состояния водных объектов Web: [http://www.ntsomz.ru/projects/eco/econews\\_271108\\_beta](http://www.ntsomz.ru/projects/eco/econews_271108_beta)
- Обручев В. А. От Кяхты до Кульджи. Путешествие в Центральную Азию и Китай / В. А.Обручев. - Москва – Ленинград: Изд-во Академии наук СССР, 1940.
- Оганесян Р.О. Озеро Севан вчера, сегодня... / Р.О. Оганесян – Ереван: Национальная Академия Наук РА, 1994.
- Оганесян К.А. Динамика и прогноз изменения качества воды озера Севан в условиях функционирования тоннеля Арпа-Севан / К.А.Оганесян // Ресурсы, качество, использование и охрана поверхностных вод Труды IV Всемирного водного форума "Локальные действия для глобальных вызовов" Мехико: 2006.
- Озеро Восток: скважину законсервировали до следующего года. Наука и техника. Пресс-релиз от 07.02.2011. Web: [http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d\\_no=36919](http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=36919)
- Ольдерогге Д. А. Народы Эфиопии. Туркана / Д. А.Ольдерогге, А. С.Орлова // Народы Африки. Ред. Д. А. Ольдерогге, И. И. Потехин. - М.: Изд-во Академии наук СССР, 1954. - С. 452—453
- Панкова Е.И., Айдаров И.П. (2005). Процессы соленакопления в бассейне Аральского моря и в Казахстане и пути их регулирования. Web: [http://www.aidarov.net/index.php?option=com\\_content&task=view&id=19&Itemid=28](http://www.aidarov.net/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=28)
- Паффенгольц К.Н. О происхождении озер Севан (Армения), Ван (Анатолия), и Урмия (Иран) / Паффенгольц К.Н.// Известия АН СССР, серия геологическая. - М.: 1950. - №1 - С. 125-137
- Петрова Н.А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер / Н.А.Петрова - Л.: 1990. – С.198
- Петрова Н.А. Структурные и функциональные характеристики фитопланктона / Н.А.Петрова, С.Е.Антонов, Е.В.Протопопова // Ладожское озеро - критерии состояния экосистемы. - СПб.: 1992. - С. 119-145
- Петровская М.В. Характеристика зоопланктона озер Мурманской области /М.В.Петровская //Рыбы Мурманской области. – Мурманск: 1966. - С. 84-90
- Пирожкова Г.П. Гидрохимический режим озера и его изменение под влиянием антропогенного воздействия / Г.П.Пирожкова //Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. - Л.: 1990. - С. 95-146
- Пиотровский Б.Б. Ванское царство (Урарту) /ред. И.А.Орбели. — Москва: Изд-во Восточной литературы, 1959. – С. 286
- Пичкилы Л.О. Фитопланктона Аральского моря в условиях Антропогенного воздействия / Л.О.Пичкилы // Труды IV съезда Всесоюз. гидробиол. об-ва: Тез. докл. Киев: Наук. думка, 1981. – Ч. 1. – С. 142–144.



- План управления водными ресурсами бассейна реки Нарва и Чудского озера // Отчет по проекту TACIS. – Псков: Изд-во ПГПИ, 2006. – С.286
- Полякова Т.Н. Донные ценозы в условиях антропогенного эвтрофирования /Т.Н. Полякова //Онежское озеро, экологические проблемы. – Петрозаводск: 1999. - С. 211-227
- Поступление питательных веществ в Чудское озеро // Материалы отчета Норвежского центра по земельным ресурсам и экологическим исследованиям, Норвегия.
- Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения. - Л.: 1984. - 285 с.
- [Проект «РРССАМ» — фаза 2: долгая дорога в дюнах](#) Web: [www.kyzylorda.kz/page.php?page\\_id=125&lang=18&news\\_id=3604](http://www.kyzylorda.kz/page.php?page_id=125&lang=18&news_id=3604)
- Проект ИНТАС-0511 REBASOWS
- Пути познания Байкала / Под ред. Г.И.Галазия и К.К.Вотинцева. – Новосибирск: Наука, 1987. – С.303
- Пулянина Т.Н. Бактериопланктон озера Хубсугул / Пулянина Т.Н. // Природные условия и ресурсы Прихубсугулья. Иркутск-Улан-Батор: 1973. - С. 341-348
- Пырина И.Л. Исследования продуктивности фитопланктона Ладожского озера / И.Л.Пырина, И.С. Трифонова // Гидробиол. журн. - 1979. - Т. 15. № 4. - С. 26-31
- Расплетина Г.Ф. Обеспеченность озерной экосистемы фосфором / Г.Ф.Расплетина // Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы. - СПб.: 1992. - С. 74- 87
- Расплетина Г.Ф. Биогенные элементы / Г.Ф.Расплетина, О.М.Сусарева // Ладожское озеро, прошлое, настоящее, будущее. - Л.: 2002. - С. 77-86
- Расплетина Г.Ф. Минерализация и электропроводность воды/ Г.Ф.Расплетина, О.М.Сусарева, А.М.Крючков // Ладожское озеро, прошлое, настоящее, будущее. - Л.: 2002. - С. 72-74
- Раткович Д.Я. Проблема озера Балхаш / Д.Я.Раткович, Л.В.Иванова, Н.М.Новикова, А.В.Фролов //Водные ресурсы - 1990. - №3. - С.5-23
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность // Т.1. Карелия и Северо-Запад. - Л.: Гидрометеиздат, 1965. – С.700
- Рихтер Г.Д. Физико-географический очерк озера Имандра и его бассейна / Г.Д.Рихтер. - Л.: 1934. – С.144
- Романов Н.С. Ихтиофауна озер п-ова Таймы. Вопросы хозяйственного рыболовства / Н.С.Романов, М.А.Тюльпанов // География озер Таймыра. - Л.: 1985. - С.139-183
- Романовский В.В. Озеро Иссык-Куль - природная система / В.В.Романовский Фрунзе: Изд-во “Илим”, 1990. - С.1-168
- Россия: водно-ресурсный потенциал. – Екатеринбург: 1998. – С.336
- Рощенко Е.М. О формировании новых ландшафтов в зоне Аральского моря и Приаралья / Е.М.Рощенко // Проблемы экологии и использования водно-земельных ресурсов в регионе ВЕКЦА. - Ташкент: НИЦ МКВК, 2010. - С. 101-114
- Рубанов И.В. 1980. Геологические и исторические свидетели колебаний уровня Арала / И.В.Рубанов // В кн.: Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. - М.: Наука. - С. 204-209
- Рубанов И.В. Геология Аральского моря / И.В. Рубанов и др. - Т.: Фан, 1987. – С.247
- Румянцев В.А, Большие озера в условиях полярных и умеренных широт /В.А.Румянцев, В.Г.Драбкова, А.В.Измайлова // Изв. РГО. - 2010. - Вып.3. - С. 11 – 18
- Румянцев В.А. Внешняя нагрузка на Чудско-Псковский озерный комплекс: мониторинг и моделирование фосфорного режима / В.А.Румянцев, С.А. Кондратьев, С.Л.Басова, М.В.Шмакова, О.Н.Журавкова, Н.В.Савицкая // Водные ресурсы. – 2006. - 33 (6). - С.710-720
- Русакова О.М. Краткая характеристика качественного состава фитопланктона Аральского моря весной и осенью 1992 года / О.М. Русакова // Тр. Зоол. ин-та РАН. - 1995. - Т. 262. - С. 195–207
- Сабылина А.В. Современный гидрохимический режим озера / А.В.Сабылина // Онежское озеро, экологические проблемы. – Петрозаводск: 1999. - С. 58-108
- Сабылина А.В. Изменение химического состава воды Онежского озера в течение пятидесяти лет / А.В.Сабылина, Н.Н.Мартынова // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. - СПб.: 2003. - С. 230-233
- Салманов М.А. Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря / М.А.Салманов // Изд. «Исмаил». - 1999. – С.398
- Самакова А.Б. Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / А.Б.Самакова. — Алматы: Каганат, 2003.
- Самакова А. 2005. Основная проблема озера Балхаш — плохое качество воды. Web: [zakon.kz](http://zakon.kz) (01.10.2005).
- Саркисян С.Г. Петрографо-минералогические исследования бассейна озера Севан / С.Г.Саркисян - Ереван: Издательство АН Армянской ССР, 1962. –

- Свиридова И.В. Режим биогенных веществ. Баланс биогенных веществ / И.В.Свиридова // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – Т. 7. Аральское море. – С. 114–140
- Семенович Н.Н. Гидрологические исследования озера Имандра в 1930 г. / Н.Н.Семенович // Материалы к изучению водоемов Кольского полуострова. – Мурманск: 1940. – Сб. 1. – С. 98-150
- Скрябин Н.Г. Кулики озера Хубсугул. Монголия / Н.Г.Скрябин, И.И.Тупицын // International water studies. - 1998. - 10. - С.358
- Скляр В.Е. Пылевые бури и апвеллинг в Аральском море / В.Е.Скляр // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2009. - т.1., вып. 6. - С. 470-476
- Слепухина Т.Д. Особенности развития макрозообентоса в разных озерных зонах / Т.Д.Слепухина // Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы. - СПб.: 1992. - С. 214-218
- Слободчиков Б.Я. Влияние азота, фосфора и железа на развитие фитопланктона в озере Севан / Б.Я.Слободчиков, В.Г.Стройкина // Изв. Акад. наук Арм. ССР, биол. и с/хоз науки. - 1953.- Вып. 6, №7. - С. 3-17
- Слугина З.В. Сравнительный анализ двухстворчатых моллюсков озер Байкал и Хубсугул / З.В.Слугина // Ruthenica. - 2001. - Вып. 11 (1). С. 37-41
- Смирнова Л.Ф. Гидрологический и гидрохимический режим озера Ильмень / Л.Ф.Смирнова // Известия ГосНИОРХ. - 1974. - Т. 86. - С. 26-40
- Смирнова Л.Ф. Анализ гидролого-гидрохимического режима оз. Ильмень и его влияние на состояние запасов рыб в период с 1968 по 1976 гг. / Л.Ф.Смирнова, В.В.Гулин // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. - 1986. - Т.155. - С. 3-11
- Соколов А.А. Чудско-Псковское озеро / А.А.Соколов - Л.: Гидрометеоздат, 1941. – С.223
- Соколов А.А. Гидрография СССР /Соколов А.А. - Л.: Гидрометеоздат, 1952.
- Справочник по гидрохимии. - Л.: 1989. – С.361
- Стоценко А.В. Гидрогеографическое описание рек Приханкайской равнины и сопредельных районов / А.В.Стоценко, В.Г.Черненко // Материалы по физической географии Приморского края. - М.: изд. АН СССР, 1958. - С. 179-253
- Суходольский А.С. Гидрометеорологический режим и динамика вод оз.Балхаш / А.С.Суходольский // Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы. - Л.: Гидрометеоздат, 1989.- С.192-206
- Талалай П. Вокруг древнего озера / П.Талалай // Наука и жизнь. - 2005 - №12.
- Тарасов М.Н. Гидрохимия озера Балхаш / М.Н.Тарасов. - М., 1961. – С.227
- Тер-Аствацурян И.А. О значении озера Севан, как источника орошения и гидравлической энергии и краткая история организации его научных обследований / И.А.Тер-Аствацурян // Бюллетень Бюро гидрометеорологических исследований на озере Севан (Гогча). – Эривань: 1927. - №1-3.
- Тихомиров А.И. Термика крупных озер / А.И.Тихомиров. - Л.: 1982. – С.232
- Трофимов Г.Н. (2006). Палеоклиматическая ситуация, сток древних рек и водный баланс Арала в позднем плейстоцене и голоцене Web: <http://kungrad.com/arak/seahist/isshez/isshez6/>
- Тютеньков С.К. Определение ущерба, наносимому рыбному хозяйству Балхаш-Илийского бассейна зарегулированием стока р.Или / С.К.Тютеньков, О.К.Тленбеков // Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. - Алма-Ата: 1974. - С.121-136
- Федоров П.В. Некоторые вопросы палеогеографии Каспия и Арала в позднем плиоцене и плейстоцене /П.В. Федоров // В кн.: Палео-география Каспийского и Аральского морей в кайнозое. - 1983.- ч. 4.1.
- Федюшин И.А. Гидрометеорология озера Балхаш и расчет испарения с его поверхности / И.А. Федюшин. - Л.: 1985.
- Филонец П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана. / П.П.Филонец. - Алма-Ата: 1981.
- Фрумин Г.Е. Состояние и загрязнение поверхностных вод / Г.Е.Фрумин, Б.Т.Скакальский, В.Г.Драбкова // Состояние окружающей среды Северо-Западного и Северного регионов России. - СПб.: 1995. - С. 86-126
- Хрусталева Ю.П., История развития Аральского моря в голоцене / Ю.П.Хрусталева, Н.Резников // Докл. АН СССР. - 1976. - Т. 231, №4. - С. 981-984
- Цэрэнсодном Ж. Озера Монголии, их гидрологические особенности и районирование / Ж.Цэрэнсодном //Вопросы географии Монголии. Улаанбаатар: 1976. - вып.16. - С.28-44
- Цыцарин А.Г., Бортник В.Н. Современные проблемы Аральского моря и перспективы их решения / А.Г.Цыцарин, В.Н.Бортник // Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. - 1991. -С. 7–28.
- Чилингарян Л.А. Прогноз повышения уровня крупного озера-водохранилища за многолетие (на примере оз. Севан) / Л.А.Чилингарян, Б.П.Мнаца-



- канын // Сборник докладов Международного конгресса “ЭТЭВК”. - Украина, Крым, г.Ялта, 24-27 мая 2005 года. - С. 515-518
- Чилингарян Л.А., Мнацаканын Б.П. (2008). Оценка изменения водного баланса озера Севан при понижении его уровня. Web: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rHOrUef3ThAJ:www.ecwatech.ru/abstracts/2008/1.1/725.doc+%D0%90%D0%B9%D0%BD%D0%B1%D1%83%D0%BD%D0%B4+1961&cd=18&hl=ru&ct=clnk&gl=ru&source=www.google.ru>
- Шаров А.Н. Фитопланктон / А.Н.Шаров // Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. - М.:2002. - С.130-161
- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков северного полушария / А.В. Шнитников // Записки Географического общества СССР, новая серия. - М., Л.: Изд-во АН СССР, 1957. - Т.16.- С.337
- Шнитников А.В.. Иссык-Куль: Природа, охрана и перспективы использования озера / А.В. Шнитников. – Фрунзе: 1979.
- Шнитников А.В. Озеро Иссык-Куль // Озера Тянь-Шаня и их история / А.В.Шнитников. - Л.: Наука, 1980. - С.5-69
- Шнитников А.В. Арал в голоцене и природные тенденции его эволюции / А.В. Шнитников // Палеогеография Каспийского и Аральского морей в кайнозое. - 1983.- Ч.2 - С. 106-119
- Щур Л.А. Бактерио- и фитопланктон озера Ханка (Приморский край) / Л.А.Щур, А.Д.Апонасенко, В.Н.Лопатин, В.С.Филимонов, В.А.Назаров // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). - 2000. -том 127, №1-2. - С. 569-589
- Щур Л.А. Хлорофилл фитопланктона оз. Таймыр / Л.А.Щур, Ф.Я.Сидько // География озер Таймыра. - Л.: 1985. - С. 125-127
- Эггерт М.Б. Планктон оз Ильмень / М.Б.Эггерт // Труды ВГБО. - 1961. - Т. 11 - С.82-104
- Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1997 (справочно-аналитический обзор). - СПб.: Ленкомэкология, 1998. – С.290
- Экосистема озера Ильмень и его поймы. - СПб.: 1997. – С. 275
- Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. - Л.: 1990. – С.264
- (ACEDP) Lake Tai water pollution treatment project. AUS Lake Tai Cluster led by Earth Systems. 2009.
- Afanasyeva T.L. Life cycle of *Epischura baicalensis* Sars (Copepoda, Calanoida) in Lake3 Baikal. J. of Marine Systems. 1998. V. 15. P. 351-357.
- Ahl T. Effects of man-induced and natural loading of phosphorus and nitrogen on the large Swedish lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 1975. V.19. P. 1125-1132.
- Ahlgren, I., Chason, C., Garcia, R., Mairena, I., Rivas, K., Zelaya, A. Sediment microbial activity in temperate and tropical lakes, a comparison between Swedish and Nicaraguan lakes. Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie, 26, 1995, P.429-434.
- Aladin N., Micklin P., Plotnikov I. Biodiversity of the Aral Sea and its importance to the possible ways of rehabilitating and conserving its remnant water bodies. In: NATO Science for Peace and Security Series – C: Environmental Security. Environmental Problems of Central Asia and their Economic, Social and Security Impacts. Edited by Jianguo Qi, Kyle T. Evered. Springer. 2008. P. 73-98.
- Albright T.P., Moorhouse T. G., McNabb T. J. The Rise and Fall of Water Hyacinth in Lake Victoria and the Kagera River Basin, 1989-2001. *J. Aquat. Plant Manage.* 42. 2004. P.73-84.
- Alekhina I.A., Marie D., Petit J.R. et al. Molecular analysis of bacterial diversity in kerosene-based drilling fluid from the deep ice borehole at Vostok, East Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology.* Vol. 59. 2007. P. 289–299.
- Alipour S. Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. University of Urmia. *Saline Systems* 2006. 2:9. P.19
- Allan, R. The Australian summer monsoon, teleconnections and flooding in the Lake Eyre Basin. *Roy. Geogr. Soc. Austral., S.Austral. Br.* 1985.
- Allan, R.J., El Niño Southern Oscillation influences in the Australasian region. *Prog. Phys. Geogr.*, 12. 1988. P.4-40.
- Allan R.J, Bye J.A.T., Hutton P. The 1984 filling of Lake Eyre South. *Trans. Roy. Soc. S.Aust.* 110. 1986. P. 81-87.
- Allan, R.J., Australasia. In *ENSO teleconnections linking worldwide climate anomalies: Scientific basis and societal impacts.* Glantz, M.H., Katz, R.W. and Nicholls, N. (eds), Cambridge University Press, Great Britain. 1991. P.535.
- Altunkaynak A., Özger M., Sen Z. Triple diagram model of level fluctuations in Lake Van, Turkey. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(2), 2003. P. 235–244.
- Andreae, M.O. Global distribution of fires seen from space. *EOS* 74. 1993. P.129-135.
- Andronikova I. N. Zooplankton characteristics in monitoring of Lake Ladoga // *Hydrobiologia*, V. 322.

1996. P.173-179.
- Anyah R.O. and Semazzi F.H.M., Simulation of the sensitivity of Lake Victoria basin climate to lake surface temperatures. *Theoretical and Applied Climatology* 79. 2004. P.55–69.
- Appeal to Russia on Lake Vostok. Antarctic and South Ocean Coalition. 2008. Web: <http://www.asoc.org/Portals/0/asoc%20vostok%20statement041408.pdf>
- Apunyo R. 2007 dam construction flaws and the receding Lake Victoria Uganda – Proceeding of 10th International River *symposium* 10th River and Environmental Flows Conference, Brisbane Australia, 3rd to 6th September 2007 3rd – 6th *symposium*
- Arnou, T. Water-level and water-quality changes in Great Salt Lake, Utah, 1847-1983, *U.S. in Orogenic Patterns and Stratigraphy of North-Central Utah and Southeastern Idaho*: Utah Geological Association. 1985. P. 227-235.
- Arnou, T., Doyle S., Hydrologic characteristics of the Great Salt Lake, Utah, 1847-1986: Denver, Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey paper. 1990 P. 32.
- Asia Center at The Academy of Natural Sciences. Web: <http://asia.ansp.org/index.php>
- Australian Government. Department of the Environment and Water Resources. Map produced by Environment Resources Information Network (ERIN). 2007. Web: <http://www.environment.gov.au/water/publications/environmental/rivers/lake-eyre/pubs/leb-map.pdf>
- Awange, J. L., Ogalo L., Bae K.-H., Were P., Omondi Ph., Omute P., Omullo M. Falling Lake Victoria water levels: Is climate a contributing factor? *Climatic Change* 89. 2008. P.281-297.
- Babayan A., Hakobyan S., Jenderedjian K., Muradyan S., Voskanov M. Experience and Lessons Learned Brief concerning Lake Sevan. Lake Basin Management Initiative. Experience and Lessons Learned Brief. 2003.
- Babkin V.I., Klige R.K. The hydrosphere // *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge University Press. 2003. P. 10-18.
- Baetov R. Lake Issyk-Kul. Lake Basin Management Initiative Experience and Lessons Learned Brief. 2003. 20 p.
- Baker, P.A. “Holocene hydrologic variation at Lake Titicaca, Bolivia/Peru, and its relationship to North Atlantic climate variation”, *Journal Of Quaternary Science* 207. 2005. P. 655-662.
- Balarin, J.D. National reviews for aquaculture development in Africa. 7. Kenya. *FAO Fish. Circ.*, (770.7), FAO, Rome. 1985. P.96.
- Balirwa, J.S., Bugenyi, F.W.B. An attempt to relate environmental factors to fish ecology in the lotic habitats of Lake Victoria. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Lymnologie* 23. 1989. P.1756-1761
- Banda, M.C., Tómasson T. & Tweddle D. Assessment of the deep water trawl fisheries 91 Changing Livelihoods and Environment along Lake Nyasa, Tanzania. 1996.
- Barbiero R.P., Little R.E., Tuchman M.L. Results from the U.S. EPA's Biological Open Water Surveillance Program of the Laurentian Great Lakes: III. Crustacean zooplankton // *J. of Great Lakes Research*. V. 27, n. 2. 2001. P. 167-184.
- Barbiero R.P., Tuchman M.L. Results from the U.S. EPA's Biological Open Water Surveillance Program of the Laurentian Great Lakes: I. Introduction and phytoplankton results // *J. Great Lakes Research*. V.27, n. 2. 2001a. P. 134-154.
- Barbiero R.P., Tuchman M.L. Results from the U.S. EPA's Biological Open Water Surveillance Program of the Laurentian Great Lakes: II. Deep chlorophyll maxima // *J. Great Lakes Research*. V.27, n. 2. 2001b. P. 155-166.
- Bardach, J. Report on Fisheries in Cambodia. USOM, Phnom Penh, 1959. P.80.
- Baskin R.L., Allen D.V. Bathymetric map of the south part of Great Salt Lake. Utah. US Geol Surv Sci. Invest Map, 2894. 2005.
- Bayly, I.A.E. Distinctive Aspects of the Zooplankton of Large Lakes in Australasia, Antarctica and South America. *Mar. Freshwater Res.*, 46. 1995. P.1109-1120
- Beadle L. C. Prolonged stratification and deoxygenation in tropical lakes. P. I. Crater lake Nkugute, Uganda, compared with lakes Bunyoni and Edward. *Limnol. Oceanogr.*, 11. 1966. P.152-163.
- Beadle, L. C. *The Inland Waters of Tropical Africa, An Introduction to Tropical Limnology*, 2nd edn. Longman, London. 1981. P.475.
- Beauchamp, R.S.A. The Rift Valley lakes of Africa. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 15. 1964. P.91-99
- Beeton A.M. Eutrophication of the St. Lawrence Great Lakes // *Limnology and Oceanography*. V. X, n. 2. 1965. P. 240-254.
- Beeton A.M., Chandler D.C. The St. Lawrence Great Lakes // *Limnology in North America* (ed. D.G. Frey). Madison. 1963. P. 535-5558.
- Benzerara K., Menguy N., Lopez-Garcia P., Yoon T.-H., zef Kazmierczak J., Tyliczszak T., Guyot F., Brown G.E.. Nanoscale detection of organic signatures in carbonate microbialites PNAS, June 20,

- 2006, vol. 103, no. 25. 2006. P. 9440-9445
- Berber Ü., Yenüdnya E. Identification of Alkaliphilic Bacillus Species Isolated from Lake Van and Its Surroundings by Computerized Analysis of Extra-cellular Protein Profiles. *Turk J Biol.* 29. 2005. P. 181-188
- Bergonzini L. Bilans hydriques de lacs (Kivu, Tanganyika, Rukwa, Nyassa) du rift Est-African. *Musee Royal de l'Afrique Central. Ann. Sci. geol.* 103. 1998. P. 1-183.
- Bi J., Liu B. Water Pollution and its control in the Tai Lake Basin. 14 p. 2009. Web: [http://www.ide.go.jp/English/Publish/Download/Jrp/pdf/153\\_ch1.pdf](http://www.ide.go.jp/English/Publish/Download/Jrp/pdf/153_ch1.pdf)
- Birkett, C., and I. Mason. A new global lakes database for remote sensing programme studying climatically sensitive large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 21 (3). 1995. P.307-318.
- Blinn, D.W. The diatom flora of Lake Eyre South: a large episodically filled salt lake in South Australia. *Hydrobiologia*, 210. 1991. P.101-104.
- Bocharnikov, Shibaev. Wetlands of the southern Far East as waterfowl habitats (Cadastre). Птицы пресных вод и морских побережий юга Дальнего Востока России и их охрана. Владивосток: Дальнаука. 1996.
- Bont, A.F. La productivite du lac Tanganyika. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 18. 1972. P.656-660
- Bonython, C.W., Fraser, A.S. (Eds.). *The Great Filling of Lake Eyre in 1974*. Royal Geographical Society of Australasia, A.A. Branch. 1989. P.119.
- Bootsma, H.A., Hecky R.E., Johnson T.C., Kling H.J. & Mwitwa J. Inputs, outputs, and internal cycling of silica in a large, tropical lake. *Journal of Great Lakes Research*, 29 (supplement 2). 2003. P.121-138.
- Bos, A.R. & Ticheler, H.J. A limnological update of the Bangweulu fishery, Zambia. Dept. of Fisheries Zambia. DoF/BF/Report no. 26. 1996. P.30.
- Branchu Ph., Bergonzini L. Chloride concentrations in Lake Tanganyika: an indicator of the hydrological budget? *Hydrology and Earth System Sciences* 8 (2). 2004. P. 256-265.
- Brion N., Nahimana D., Nzeyimana E., Goeyens L. & Baeyens W. Nitrogen dynamics in Northern Lake Tanganyika: inputs by rivers and use by phytoplankton. Materials of International Symposium Changing Great Lakes of the World (GLOW IV). February 20 to 22. 2006. Bagamoyo, Tanzania.
- Brooks A.S., Warren G.J., Boraas M.E., Scale D.B., Edington D.N. Long – term phytoplankton changes in Lake Michigan: Cultural eutrophication or biotic shifts // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V. 22, part 1. 1984. P. 452-459.
- Bruce, M. and Tola, P. Natural resource and rural livelihoods in Cambodia: A baseline assessment, working paper 23, Cambodia Development Resources Institute, Phnom Penh. 2002.
- Brunskill G., Elliot S., Campbell P. Winnipeg // *The book of Canadian Lakes. Monograph series*, n. 3. 1994 . P. 405 – 409.
- Buffetrille K. The Blue Lake of Amdo and Its Island: Legends and Pilgrimage Guide. *The Tibet Journal* Vol. XIX, No. 4. 1994.
- Bugenyi, F.W.B., Lutalo-Bosa, A.J. Likely effects of salinity on acute copper toxicity to the fisheries of the lake George-Edward basin. *Hydrobiologia*, 208. 1990. P.39-44.
- Bulat S.A., Alekhina I.A., Lukin V.V.. Looking for microbes in Lake Vostok, Antarctica: The case of basal (accreted) ice cores. VIII SCAR Intern. Biol. Symp. Vrije Univ., Amsterdam. 2001.
- Bulirani A., Kidd K., Lockhart W., Wilkinson P. & Muir D. Metals, pesticides and other persistent contaminants in water, sediments and biota from Lake Malawi/Nyasa. *Proceeding of Lake Malawi fisheries management symposium*. 2001. P.11-12.
- Burgis, M.J. An estimate of zooplankton biomass for Lake Tanganyika. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 22. 1984. P.1199-1203
- Bussing W.A. *Astyanax cocibolca*, a new characid (Pisces: Ostariophysi) from Lake Nicaragua, Central America. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 56 (3). 2008. P. 1361-1370,
- Bwaku W. S. The light (Mukene/Muziri & Rago) fishery on Lake Albert. 2009. Web: <http://www.firi.go.ug/Publications/Publications/Lake%20Albert%20presentation/Light%20Fishery%20Lake%20Albert.pdf>
- Bye, J.A.T., Dillon, P.J., Vandenberg, C.J. and Will, G.D. Bathymetry of Lake Eyre. *Transactions of the Royal Society, South Australia*, 102. 1978. P.85–89.
- Calder, I.R., Hall R.L., Bastable H.G., Gunston H.M., Shela O., Chirwa A. & Kafundu R. The impact of land use change on water resources in sub-Saharan Africa: a modeling study of Lake Malawi. *Journal of Hydrology*, 170. 1995. P.123-135.
- Campbell L.M., Osano O., Hecky R.E., Dixon D.G. Mercury in fish from three rift valley lakes (Turkana, Naivasha and Baringo), Kenya, East Africa. *Environmental Pollution* 125. 2003. P.281–286.
- Campbell O.L. The Contamination of Lake Maracaibo. Caracas, Venezuela, online publication. 2004.
- Campbell I. C., Poole C., Giesen W., Valbo-Jorgensen J. Species diversity and ecology of Tonle Sap Great Lake, Cambodia. *Aquat. Sci.* 68. 2006. P. 355–373
- Cangjiang Y., Lihua Z., Weishan Z., Meilan M. Jie R.

- Lake Qinghai. in. b.:Jin X. Lakes in China. Research of their environment. Ch. Ocean Press. 1995. P.1-29
- Carbonnel, J.P. and J. Guiscafre. Grand Lac du Cambodge: Sedimentologie et Hydrologie. Rapport de Mission. Ministere des Affaires Etrangères de la République Française. Comitté du Mekong, Gouvernement Royal du Cambodge. 1963.
- Carter, G.S., Haslam H.W. & Smith S.H. Regional Geochemical Reconnaissance of Malawi. Malawi Government Printer, Zomba. 1973.
- [Case Studies : Recovery of Gas from Lake Kivu - The Goats of Rwanda](#)", Added Value Engineering Consultants, accessed 4 May 2007.
- Caruso, B. A survey comparing streams from forested and deforested watersheds to assess impact of land use change on the northeastern shore of Lake Tanganyika. Nyanza 2002 Annual Report. 2002.
- Cathcart R.B., Bolonkin A.A. Lake Titicaca—Physics of an Inherited Hydropower Macroproject Propal. eprint arXiv:physics/0703182. 2007. 13 p. Web: <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0703/0703182.pdf>.
- Chandler D.C. The St. Lawrence Great Lakes //Verh. Internat. Verein. Limnol. V. XV. 1964.P. 59-75.
- Chang W.Y.B., Rossman R. Changes in the abundance of blue-green algae related to nutrient loadings in the nearshore of Lake Michigan // Hydrobiologia. V. 157. 1988. P. 251-278.
- Charlebois P.M., Raffenberg M.J., Dettmers J.M. First occurrence of *Cercopagis pengoi* in Lake Michigan //J. Gr. Lakes Research. V.27, n. 2. 2001. P. 258-261.
- Chen J. , Dong L. and Deng B. A study on heavy metal partitioning in sediments from Poyang Lake in China. Hydrobiologia 176/177. 1989. P. 159-170.
- Chen G., Yang G. Reflection of historical geography on the floods and the changes of ecological environment along the Chanjiang River valley. Yunnan Geogr. Environ. Res. vol 12. 2000. P. 31-36.
- Cheng Zhun Li. Dynamic monitoring of desertization environment using Remote Sensing technique in Qinghai. Geological Remote Sensing Centre, MOGIR, China. 1994.
- Cherkasov A.E., Batsukh N., Shumeyev V.P. The water balance and the level regime of Lake Khubsugul (Kosogot). Proc. International Symp. on the Hydrology of the lakes. Helsinki. Pub. 109. 1973. P. 164-166.
- [China Chemical Reporter](#). June 26, 2009. Qinghai eyes salt lake chemical, other five industries for 2015 development.(New Setup, Agreement & Plan). 2009.
- Coe M.T., Foley J.A., Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin, *J. Geophys. Res.*, 106(D4). 2001. P.3349–3356.
- Coenen E.J. (ed.), Historical data report on the Fisheries, Fisheries Statistics, Fishing Gears and Water Quality of Lake Tanganyika (Tanzania). GCP/RAF/271/FIN-TD/15 (En & Fr): 115p. Hecky, R.E. and E.J. Fee (1981) Primary Production and Rates of Algal Growth in Lake Tanganyika. *Limnology and Oceanography* 26(3). 1994. P.532-547.
- Cohen, A. Effect of zoobenthic standing crop on laminae preservation in tropical lake sediment, Lake Turkana, Kenya. *J. Paleontol.*, 58. 1984. P.499-510.
- Cohen A. Facies relationships and sedimentation in large rift lakes and implications for hydrocarbon exploration: examples from lakes Turkana and Tanganyika. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 70. 1989. P.65-80.
- Coulter, G.W. (ed.) Lake Tanganyika and its Life. Oxford University Press. London. 1991.
- COWI Consulting Engineers. Integrated Water Quality. Limnology study for Lake Victoria. Lake Victoria Env.. Management Project, P. II Techn. Rep. 2002.
- Crop Explorer - Lake Level Variations from TOPEX /POSEIDON and Jason-1 Altimetry for Lake Victoria
- Csavas et al. Cambodia-Rehabilitation and development needs of the fisheries sector. FAO fisheries circular. No. 873. Rome, FAO. 1994.
- Dai S., Yang S., Zhu J., Gao A., Li P. The role of lake Dongting in regulation the sediment budget of the Yangtze River. *Hydrology and Earth System Sciences*. vol. 9 (6). 2005. P. 692-698.
- Damas, H. Le plancton de quelques lacs d'Afrique Centrale. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 15. 1964, P.128-138.
- Danulat E, Selcuk B Life history and environmental conditions of the anadromous *Chalcalburnus tarichi* (Cyprinidae) in the highly alkaline Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey. *Arch Hydrobiol* 126(1). 1992. P.105–125.
- Data Book of World Lake Environments // A survey of the state of World Lakes. Otsu. 1990 (III). NAM 30.
- Data Book of World Lake Environments // A survey of the state of World Lakes. Otsu and Kusatsu. 1989. EUR 13-16.
- Davies W.D. Lake Nicaragua Fishery Resources. Papers in the Biological Sciences Investigations of the Ichthyofauna of Nicaraguan Lakes. University of Nebraska – Lincoln. Fishery resources. 1976 P.261-265
- Degens, E.T., Wong, H.K.; Kempe, S.; Kurtman, F. (June 1984), "A geological study of Lake Van, eastern Turkey", *International Journal of Earth Sciences* (Springer) 73 (2). 1984. P.701–734.
- Dejoux, C. Les insectes aquatiques du lac Chad - Aperçu systématique et bio-écologique. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur*



- Limnologie, 17. 1968. P.900-906
- Descy, J.-P., M.A. Hardy, S. Stenuite, S. Pirlot, B. Leporcq, I. Kimirel, B. Sekadende, S.R. Mwaitega and D. Sinyenza. Phytoplankton pigments and community composition in Lake Tanganyika, *Freshwater Biology*, 50. 2005. P.668-684.
- DeVogel S.B., Magee J.W., Manley W.F., Miller G.H. A GIS-based reconstruction of late Quaternary paleo-hydrology: Lake Eyre, arid central Australia Palaeo-geography, *Palaeoclimatology, Palaeoecology* 204. 2004. P. 1-13.
- Dikmen N. Lake Van: Turkey's Dead Sea & Creating Bounty in Energy and Food: The Turkish GAP Project. Great Lakes Experiences and Global Applications - June 24, 2003 DePaul University, Chicago, Ill Proceedings Document. 2003.
- Domagalski, J. L., Eugster, H. P., and Jones, B. F. Trace metal geochemistry of Walker, Mono, and Great Salt Lakes: Fluid-Mineral Interactions: A Tribute to H.P. Eugster: The Geochemical Society, Special Publication, no. 2. 1990. P. 315-353.
- Donda, S.J. & Bell R. Community Participation Consultancy Report, *Volume I*. Fish series Department, Lilongwe. 1993.
- Downing J.A., Prairie Y.T., Cole J.J., Duarte C.M., Tranvik L.J. et al. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments // *Limnol. Oceanogr.*, 51(5). 2006. P.2388-2397.
- Drabkova V. G., Rummyantsev V.A., Sergeeva L.V., Slepukhina T.D. Ecological problems of Lake Ladoga: causes and solutions // *Hydrobiologia*. V. 322. 1996. P. 1-7.
- Dryton R.S. Variations in the level of Lake Malawi. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 29, 1, 3/1984. 1984. P. 1-12.
- Duker, L. and L. Borre. Biodiversity conservation of the world's lakes: a preliminary framework for identifying priorities. LakeNet Report Series Number 2. Annapolis, Maryland USA. 2001.
- Dulhunty, J.A. Shoreline shingle terraces and prehistoric fillings of Lake Eyre. *Trans. Roy. Soc. S. Austral.* 99. 1975.
- Dulhunty J. Holocene sedimentary environments in Lake Eyre, South Australia *Australian J. of Earth Sciences*, Vol. 29 (3-4), October 1982. 1982. P.437 - 442
- Duponchelle, F., Ribbink A.J., Msukwa A., Mafuka J. & Mandere D. The potential influence of fluvial sediments on rock-dwelling fish communities. In (F. Duponchelle & A.J. Ribbink, eds.), *Fish Ecology Report, Lake Malawi/Nyasa/Niassa Biodiversity Conservation Project*, pp. 111-132. SADC (Southern African Development Community) & GEF (Global Environmental Facility), Gaborone & Washington D. C. 2000.
- EAC. n.d. 2006. Overview of Lake Victoria Basin. Web: <http://www.eac.int/lvdp/basin.htm>. Special report on the declining of water levels in Lake Victoria.
- EAC. n.d. 2008. Overview of Lake Victoria Basin. Web:<http://www.eac.int/lvdp/basin.htm>. EAC countries to enter new covenant to control Lake Victoria waters use and agreed lake levels.
- Eawag. Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs., 2009. Methane oxidizers in lake Kivu. Aquatic research. Web: [http://www.fischer.eawag.ch/organisation/abteilungen/surf/schwerpunkte/project\\_overview/distr\\_kivu/index?clear\\_lang=1&print=1](http://www.fischer.eawag.ch/organisation/abteilungen/surf/schwerpunkte/project_overview/distr_kivu/index?clear_lang=1&print=1)
- Eccles, D.H. An outline of the physical limnology of Lake Malawi (Lake Nyasa). *Limnology and Oceanography* 19. 1974. P.730-742.
- ECOPETROL/PDVSA (Empresa Colombiana de Petroleos/Petroleos de Venezuela SA). Monitoreo biologico y quimico de la cuenca del Rio Catatumbo. Petroleos de Venezuela SA, Caracas, Venezuela. 1996.
- Eimanifar A., Mohebbi F. Urmia Lake (Northwest Iran): a brief review. *Saline Systems*, 3:5. 2007. P.8.
- Ellis E.C., Li R.G., Yang L.Z., Cheng X. Changes in village-scale nitrogen storage in China's Tai Lake region. *Ecol. Applications*, 10(4). 2000. P. 1074-1089
- ENSO. Recent ENSO and paleo-ENSO of the last 1000 years in Lake Tanganyika Project
- Erickson C.L. Raised filled agriculture in the Lake Titicaca Basin. Putting Ancient Agriculture Back to Work Expedition 30(1). 1988. P. 8-16.
- Escalona A., Mann P. Paleogene Depocenter along the Northeast Margin of the Maracaibo Basin: Structure along an Exhumed, Eocene Age Lateral Ramp Fault in the Maracaibo Basin, Western Venezuela. 2003. Web: <http://www.searchanddiscovery.net/documents/2003/escalona/images/escalona.pdf>
- Fact Sheet: West Desert Pumping Project. *Utah Division of Water Resources*. Web: [http://www.water.utah.gov/construction/gsl/fact\\_sheet.htm](http://www.water.utah.gov/construction/gsl/fact_sheet.htm)
- Fahnenstiel G.L., Scavia D. Dynamics of Lake Michigan phytoplankton: primary production and growth // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 44, n.3. 1987. P. 499-508.
- FAO/UNDP. Report to the Government of Kenya on fishery development possibilities, based on the work of D.H. Rhodes, Rome, FAO Rep. FAO/TA (2144). 1966. P.77.
- Fedotov A. P., Semenov M. Yu., Osipov E. Yu., Vorobyova S. S., Golobokova L. P. Evidence of Lake Khubsugul Volume Decrease Due to Climate Arid-

- zation in Upper Pleistocene. Proc. International Symposium - Speciation in Ancient Lakes, SIAL III - Irkutsk, September 2-7. 2002. P. 89-95.
- Fellows, S. and Edwards, T.C., Jr. Temporal and spatial distribution of shorebirds on the Great Salt Lake. Salt Lake City, Utah, Utah Division of Wildlife Resources. 1991.
- Findikakis A.N, Imberger J., Hansen I.S., Delgado L.A., García-Martínez R., Gundlach E. A study of environmental remediation options for Lake Maracaibo, Venezuela. Proc. of XXIX IAHR Congress, September 16-21, Beijing, China. 2001.
- Fisher, A.L. Utah Travel Center Geographic Factsheet. 2006. May 8, 2006.
- Fleischer G.W., DeSorcie T.J., Holuszko J.D. Lake-wide distribution of *Dreissena* in Lake Michigan, 1999 // *J. Great Lakes Research*. V. 27, n. 2. 2001. P. 252-257.
- Friedman I., Norton D. R., Carter D. B., Redfield A. C. The Deuterium Balance of Lake Maracaibo. *Limnology and Oceanography* Vol. 1 (4). 1956.
- Gessner, F. Auf den Spuren Alexander von Humboldts in Venezuela. *Natur u. Wissenschaft*, 138. 1953. P.20.
- Getenga, Z. M., F. O. Kengara, and S. O. Wandiga. Determination of organochlorine pesticides in soil and water from river Nyando Drainage System Within Lake Victoria Basin, Kenya. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 72 (2). 2004. P.335-342.
- Ghaheri M., Baghal-Vayjooee M. H. and Naziri J.. Lake Urmia, Iran: A summary review. *International Journal of Salt Lake Research*. Vol. 8, N 1. Springer Netherlands. 1999. P.19-22.
- Gikuma-Njuru P., Mwirig P., Okungu J., Hecky R., Abuodha J. Spatial-temporal variability of phytoplankton abundance and species composition in Lake Victoria, Kenya: implication for water quality management. *WLCK* 2006. P. 155-159. Web: <http://iodeweb1.vliz.be/odin/bitstream/1834/1471/1/WLCK-155-159.pdf>
- Gillespie, D. M., and Stephens, D. W. Some aspects of plankton dynamics in the Great Salt Lake, Utah: in *Desertic Terminal Lakes*, Proceedings of Conference at Weber State College, Ogden, Utah. 1977. P. 401-410.
- Gilson, H.C. Lake Titicaca. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 15. 1964. P.112-127.
- GIWA. East African Rift Valley Lakes. GIWA Regional Assessment no. 47. 2006. Web: [http://www.giwa.net/areas/reports/r47/giwa\\_regional\\_assessment\\_47.pdf](http://www.giwa.net/areas/reports/r47/giwa_regional_assessment_47.pdf).
- Glantz M.H. Lake Chad and the Aral Sea: A Sad Tale of Two Lakes. 2004. Web: [http://www.fragileecologies.com/sep09\\_04.html](http://www.fragileecologies.com/sep09_04.html)
- Government of Uganda. The renewable energy policy for Uganda. 2007. Web: <http://www.energyandminerals.go.ug/EnergyDocuments/RENEWABLE%20ENERGY%20POLIC9-11-07.pdf>.
- Great Artesian Basin – SA. Resource Assessment Fact Sheet 10. 2002. Web: [http://www.k26.com/eyre/The\\_Lake/Further\\_reading/GAB\\_fact\\_sheet.pdf](http://www.k26.com/eyre/The_Lake/Further_reading/GAB_fact_sheet.pdf)
- Greboval D., Bellemans M., Fryd M. Fisheries characteristics of the shared lakes of the East African rift. CIFA Technical Paper. No. 24. Rome, FAO. 1994. P. 81p.
- Gumisiriza R. Mshandete A.V., Rubindamayug T.M.S., Kansime F., Kivaisi A.K. Nile perch fish processing waste along Lake Victoria in East Africa: Auditing and characterization African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 3 (1), pp. 013-020, January 2009. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJEST> ISSN 1991-637X © 2009 Academic Journals
- Gundlach E.R., Findikakis A., Delgado L., Harding A. Remediation and transportation planning, Lake Maracaibo, Venezuela. Proc. International Oil Spill Conference. 2001. P. 1179-1184.
- Guozhuang Shen A., Lei Dong B., Jinguan Liao C., Huadong Guo D. Poyang lakewetland plants microwave scattering characteristics Research and biomass inversion. 2009.
- Gwynn, J. W. (Ed.) *Great Salt Lake, an Overview of Change: A Special Publication of the Utah Department of Natural Resources*. Salt Lake City: Department of Natural Resources. 2002.
- Haberyan, K. A., R. E. Hecky. The late pleistocene and holocene stratigraphy and paleolimnology of Lake Kivu and Tanganyika. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 61. 1987. P.169-197.
- Habermehl, M.A. The Great Artesian Basin, Australia. *J. Austral. Geol. Geophys.* 5. 1980.
- Hailiang Dong et al. Microbial Diversity in Sediments of Saline Qinghai Lake, China: Linking Geochemical Controls to Microbial Ecology. 2006.
- Haixing Z. Lake Boyang, in b.: Jin X. Lakes in China. Research of their environment. China Ocean Press. 1995. P.30-61
- Halbwachs M., Tietze K., Lorke A., Mudaheranwa C., Investigations in Lake Kivu (East Central Africa) after the Nyiragongo Eruption of January 2002: Specific study of the impact of the sub-water lava inflow on the lake stability (pdf). *Solidarities*. 2002-03-09. Web: [http://www.eawag.ch/research\\_e/apec/Scripts/Lorke\\_publication\\_lake\\_kivu\\_2002.pdf](http://www.eawag.ch/research_e/apec/Scripts/Lorke_publication_lake_kivu_2002.pdf). Retrieved 2008-08-



17. [mirror](#)

- Halcrow. Mekong River Commission Decision Support Framework. Water Utilization Project Component A: Final Report. Volume No. 1. DSF 100 Main Report. Consultants report to Mekong River Commission Secretariat by Halcrow Group Limited. 2004. P.40.
- Halfman J.D., Johnson T.C. High resolution record of cyclic climatic change during the past 4 ka from Lake Turkana, Kenya. *Geology*. 16. 1988. P.496-500.
- Halls, A.J. (ed.). "Wetlands, Biodiversity and the Ramsar Convention: The Role of the Convention on Wetlands in the Conservation and Wise Use of Biodiversity". Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. 1997.
- Hamblin P., Bootsma H., Hecky R. Modeling Nutrient Upwelling in Lake Malawi/Nyasa *Journal of Great Lakes Research*, Volume 29 (2). 2003. P. 34-47.
- Hammer U.T. Saline lake ecosystems of the world., Dr. W.Junk Publishers, Dordrecht – Boston, 1986.
- Hassible W.R., Keck W.G. *The Great Salt Lake*. U.S. Department of the Interior / U.S. Geological Survey, U.S. Government Printing Office: 1993 0 - 337-928 : QL 2. 1993. P.24.
- Hecky R.E., Fee, E.J., Kling H., Rudd J.W.M. Studies on the planktonic ecology of Lake Tanganyika. Western Region Fisheries and Marine Service, Department of fisheries and the Environment, Winnipeg, Canada. 1978. P.51.
- Hecky R.E., Fee, E.J. Primary production and rates of algal growth in Lake Tanganyika. *Limnol. Oceanogr.* 26. 1981. P.532-547.
- Hecky R.E. and Kling, J. The phytoplankton and zooplankton of the euphotic zone of lake Tanganyika: Species composition, biomass, chlorophyll content and spatio-temporal distribution, *Limnol. Oceanogr.*, 26. 1981. P.548-564.
- Hecky, R. E. and Kling, H. J. Phytoplankton ecology of the great lakes in the rift valleys of Central Africa. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 25. 1987. P.197-228.
- Hecky R.E.,Kling H.J., Brunskill G.J. Seasonality of phytoplankton in relation to silicon cycling and interstitial water circulation in large, shallow lakes of central Canada // *Hydrobiologia*. V.138. 1986. P.117-126.
- Hecky R.E., H.J. Kling, T.C. Johnson, H.A. Bootsma, and P. Wilkinson. Algal and sedimentary evidence for recent changes in the water quality and limnology of Lake Malawi/Nyasa. Pages 191-214 *In*, Bootsma, H.A., and R.E. Hecky (eds.), Water Quality Report, Lake Malawi/Nyasa Biodiversity Conservation Project. SADC/GEF. 1999.
- Hegewald, E., Aldave, A., Hakuli, T. Investigations on the lakes of Peru and their phytoplankton 1. Review of literature, description of the investigated waters and chemical data. *Archiv fur hydrob.*, 78. 1976. P.494-506
- Herdendorf C.E. Distribution of the World's Large Lakes // Large Lakes, Ecological Structure and Function. Springer-Verlag. 1990. P. 3-38.
- Herr A., Smith T., Brake L. Regional profile of the Lake Eyre Basin catchments. In Measham TG, Brake L (Eds.). *People, communities and economies of the Lake Eyre Basin*, DKCRC Research Report 45, Desert Knowledge Cooperative Research Centre, Alice Springs. 2009. P. 41-88.
- High-level Conference on water for agriculture and energy in Africa: the challenges of climate change. Sirte, Libyan Arab Jamahiriya, 15 – 17 December 2008. Roundtable: to save Lake Chad background paper. 12 p.
- Holland R.E., Beeton A.M. Significance to eutrophication of spatial differences in nutrients and diatoms in Lake Michigan // *Limnology and oceanography*. V. 17, n. 1. 1972. P. 88-96.
- Holopainen A.-L., Huovinen P., Huttunen H. Horizontal distribution of phytoplankton in two large lakes in Eastern Finland // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V. 25. P. 1. 1993. P. 557-562.
- Henry, L. Kishimba, M. A. Levels of pesticides residues in southern Lake Victoria and its basin, *Paper presented at LVEMP conference, Kisumu, Kenya*. 2002.
- Homizak J. Tilapia Farming Benifit Or Menace? CAFTA Interim Environmental Review - Lake Nicaragua 2001 Web: <http://www.bionica.info/Biblioteca/HomziakTilapia.pdf>
- Hu Ch. H., Müller-Karger F.E.; Taylor Ch., Myhre D., Murch B., Odriozola A.L., Godoy G. Modis Detects Oil Spills in Lake Maracaibo. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, Volume 84, Issue 33. 2003. P. 313-319.
- ILEC Database. Data book of world lakes. Tokyo, Japan, National Institute for Research Advancement. 1984. P.512.
- ILEC Data Book of World Lake Environments // A survey of the state of World Lakes. Otsu. 1988 (NAM 3-7).
- Impacts of Gilgel Gibe III dam in the Turkana region. A report for a research project undertaken by Friends of Lake Turkana (FoLT) on behalf of Campagna per la Riforma della Banca Mondiale (CRBM) Lodwar. 2009.
- Integrated Water Resources Management in Urmia Lake Basin, Iran. 2005. Wetland assessment and management. Web: <http://www.wri.ac.ir/urmia/english/index.html>

- In the Mirror of a Lake. - Ed. V.van Eerden, Y.Bos, L.van Hulst. Lelystad, Rijkswaterstaat, 2007. P.283.
- Irvine, K., Martens K., Mapila S.A., Snoeks J., Carvalho G., Allison E., Turner G., Aggrey A. & P.O.J. Bwathondi. *The Trophic Ecology of the Demersal Fish Community of Lake Malawi/Niassa, Central Africa*. Final Report to the European Commission, Contract No. ERBIC18CT970195. INCO-DC (International Cooperation with Developing Countries), Brussels. 2002.
- Isumbisho M., Sarmiento H., Kaningini B., Micha J.C., Descy J.P. Zooplankton of Lake Kivu, East Africa, half a century after the Tanganyika sardine introduction. [Journal of Plankton Research](#), vol. 28 (11). 2006. P. 971-989.
- 1.
- Jehl, J.R., Jr., Henry, A.E., and Bond, S.I. Sexing eared grebes by bill measurements. *Colonial Waterbirds* **21**. 1998. P.98-100.
- Jiang L., Bergen K.M., Brown D.G., Zhao T., Tian Q., Qi S. Land-cover Change and Vulnerability to Flooding near Poyang Lake, Jiangxi Province, China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 74, No. 6. 2008.
- Jianqiang T., Qide L. Lake Dongting, in b.:Jin X. Lakes in China. Research of their environment. China Ocean Press. 2005. P.62-93.
- Jiao H. B., Zha Y., Gao J., Li Y. M., Wei Y. C., Huang J. Z. Estimation of chlorophyll-a concentration in Lake Tai, China using in situ hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 27, No. 19. 2006. P. 4267-4276.
- Johannsson O.E. Comparison of Lake Ontario zooplankton communities between 1967 and 1985: before and after implementation of salmonid stocking and phosphorus control // *J. of Great Lakes Research*. V. 13, n. 3. 1987.P.328-339.
- Johnson B. Great Salt Lake Basin Hydrologic Observatory Prospectus. Submitted to CUAHSI for consideration as a CUAHSI Hydrologic Observatory. 11 p. Web: <http://greatsaltlake.utah.edu>
- Johnson L. Great Bear // *The book of Canadian Lakes*. Monograph series. n. 3. 1994. P. 549-559.
- Johnson R., Wiederholm T. Long-term studies of profundal zoomacroinvertebrates in Sweden's great lakes: implications of biotic interactions // *Ann. Zool. Fennici*. V.27. 1990. P. 291-295.
- Johnson, T.C., and Ng'ang'a P. Reflections on a rift lake. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir* 50. Pages 113-135 *In* B.J. Katz (ed.), *Lacustrine basin exploration: Case studies and modern analogs*. AAPG, Tulsa. 1990.
- Jones B.F., Naftz D. L., Spencer R. J., Oviatt Ch.G. *Geochemical Evolution of Great Salt Lake, Utah, USA*. *Aquat Geochem*. 15. 2009. P. 95-121.
- Jorgensen S.E., Ntakimazi G, Kayombo S. Lake Tanganyika: Experience and Lessons Learned Brief. Lake Basin Management Initiatives. 2005. Web: [http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/22\\_Lake\\_Tanganyika\\_27February2006.pdf](http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/22_Lake_Tanganyika_27February2006.pdf)
- Jouzel J., Petit J.R., Soucher R., Barkov N.I., Lipenkov V.Ya., Raynaud D., Stievenard M., Vasiliev N.I., Verbeke V., Vimeux F. More than 200 meters of lake ice above subglacial Lake Vostok, Antarctica. *Science*, 286, 10 Dec. 1999. P. 2138-2141.
- Jul-Larsen, E. et al.: "Management, co-management or no management? Major dilemmas in southern African freshwater fisheries. Part 2: Case studies". FAO Fisheries Technical Papers T426/2 (2003) ISBN 9251050325. Website accessed 24 April 2007.
- International Lake Environment Committee, the United Nations Environment Program and Environment Agency, Government of Japan. 1997. World Lakes Database.
- Kadioglu, M., Sen, Z. and Batur, F. The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change. *Ann. Geophysicae*, **15**. 1997. P.1489-1497.
- Kapitsa A.P., Ridley J.K., Robin G. de Q., Siegert M.J., Zotikov I.A. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica. *Nature* 381, n6584. 1996. P. 684-686.
- Karabanov E., Williams D., Kuzmin M., Sideleva V., Khursevich G., Prokopenko' A., Solotchina E., Tkachenko L., Fedenya S., Kerber E., Gvozdkov A., Khlustov O., Bezrukova E., Letunova P., Krapivina S. Ecological collapse of Lake Baikal and Lake Hovsgol ecosystems during the Last Glacial and consequences for aquatic species diversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. vol. 209, Issues 1-4. 2004. P. 227-243
- Karjalainen Ju., Holopainen A.-L., Huttunen P. Spatial patterns and relationships between phytoplankton, zooplankton and water quality in the Saimaa lake system, Finland // *Hydrobiologia*. V. 322. 1996. P. 267-276.
- Karmanchuk A.S. Water chemistry and ecology of Lake Issyk-Kool. In b.: *Lake Issyk-Kul: its natural environment* ed. by J. Klerkx, B. Imanackunov. NATO Science series IV: Earth and Environmental Sciences. vol. 13. 2002. P. 13-32.
- Kauppi M., Kettunen I., Kivinen Ya., Niinioja R., Sandman O. The quality of Lake Saimaa water // *Saimaaseminaari*. Joensuu yliopisto. Joensuu. N 71. 1985. P. 16-41.
- Kayombo S., Jorgensen S.E., 2005, Lake Victoria. Experience and lessons learned brief. Web:

[http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/27\\_Lake\\_Victoria\\_27February2006.pdf](http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/27_Lake_Victoria_27February2006.pdf)

- Kejia Zh. Poyang Lake: saving the finless porpoise. 2007.
- Kelts K, Shahrabi M. Resource assessment of Urmia lake Arthemia cysts and biomass. Internal Report, Geological Survey of Iran. 1997.
- Kempe S., Kazmierczak J. Hydrochemical key to the genesis of calcareous non-laminated and laminated cyanobacterial microbialites. In: Seckbach J (ed) Extremophilic algae, cyanobacteria and nonphotosynthetic protists: from procaryots to astrobiology. Springer, Berlin, COLE Series. 2007. P. 241–264.
- Keskinen M. Socio-economic survey of the Tonle Sap Lake, Cambodia. A Master of Science Thesis submitted for inspection in Espoo 16.6.2003. 2003. P.140.
- Kezer K., Matsuyama H. Decrease of river runoff in the Lake Balkhash basin in Central Asia. Hydrological Processes. Special Issue: Japan Society of Hydrology and Water Resources Annual Issue VI Volume 20, Issue 6, 2006. P.1407–1423.
- Kiage L. M. , Walker N. D. Using NDVI from MODIS to Monitor Duckweed Bloom in Lake Maracaibo, Venezuela. Water Resour Management vol. 23 (6). 2009. P.1125-1135.
- Kidd, C.H.R. A water resources evaluation of Lake Malawi and the Shire River. UNDP Project MLW/77/012, World Meteorological Organization, Geneva. 1983. P.132.
- Kidd K.A., Lockhart, W.L. Wilkinson P. & Muir D.C.G. Metals, pesticides and other persistent contaminants in water, sediments and biota from Lake Malawi. In (H.A. Bootsma & R.E. Hecky, eds.) *Water Quality Report, Lake Malawi/Nyasa Biodiversity Conservation Project*, pp. 243-276. SADC (Southern African Development Community) & GEF (Global Environmental Facility), Gaborone & Washington D.C. 1999.
- Kishe M.A., Machiwa F.J. Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. Paper presented at LVEMP Conference, Kisumu, Kenya. 2001.
- Kiwango Yu.A. and Wolanski E. Papyrus wetlands, nutrients balance, fisheries collapse, food security, and Lake Victoria level decline in 2000–2006. *Wetlands Ecology Management* December. 2007.
- Kneubühler M., Frank T., Kellenberger T. W., Pasche N., Schmid M. Mapping chlorophyll-a in lake Kivu with remote sensing methods. Proc. 'Envisat Symposium 2007', Montreux, Switzerland 23–27 April 2007. 2007.
- Kolding J. Trophic interrelationships and community structure at two different periods of Lake Turkana, Kenya: a comparison using the ECOPATH II Box Model. In V. Christensen and D. Pauly (ed.) *Trophic models of aquatic ecosystems*. ICLKARM Conf. Proc., 26. 1993. P.116-123
- Kondratiev S., Izmaylova A., Koroleva E. 2009. Lake Chudsko-Pskovskoe. Breatf. Web: [http://rcse.edu.shiga-u.ac.jp/gov-pro/plan/2009list/11wlc13\\_wuhan/ilbm\\_expert\\_group\\_meeting/ilbm\\_lake\\_briefs\\_in\\_progress/08\\_aladin\\_chudskoe\\_lake\\_brief\\_%28final\\_draft%29.pdf](http://rcse.edu.shiga-u.ac.jp/gov-pro/plan/2009list/11wlc13_wuhan/ilbm_expert_group_meeting/ilbm_lake_briefs_in_progress/08_aladin_chudskoe_lake_brief_%28final_draft%29.pdf)
- Kotwicki, V. Floods of Lake Eyre, Engineering and Water Supply Department, Adelaide. 1986. P.99 .
- Kotwicki, V. On the future of rainfall-runoff modelling in arid areas — Lake Eyre case study. *Water for the Future: Hydrology in Perspective* (Proceedings of the Rome Symposium, April 1987). IAHS Publ. no. 164. 1987. P. 341-351.
- Kotwicki, V., Allan, R. La Niña de Australia - Contemporary and palaeohydrology of Lake Eyre. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 144. 1998 P.265-280.
- Kotwicki V., Isdale P. Hydrology of Lake Eyre, Australia El Niño link. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 84. 1991. P. 87-98.
- Kozhova O.M., Izmet'eva L.R., Erbaeva E.A. A review of the hydrobiology of Lake Khubsugul (Mongolia). *Hydrobiologia* 291. 1994. P. 11-94.
- Kozhova O.M., Izmet'eva L.R., Erbaeva E.A. The benthic invertebrates of Lake Khubsugul, Mongolia. *Advances in Ecological Research*. Vol. 31. 2000. P. 97-124.
- Kull D. Connections between recent water level drops in Lake Victoria, dam operations and drought. 2006. Web: <http://internationalrivers.org/files/060208vic.pdf>.
- Lake Eyre basin intergovernmental agreement 2000 The commonwealth of Australia, the Lake Eyre basin intergovernmental agreement. The commonwealth of Australia, the State of Queensland, the State of South Australia. 2000.
- Lake Peipsi. Meteorology, Hydrology, Hydrochemistry. - Ed. T Nõges. Tartu: Sulemees Publ. 2001. P.163.
- Lake Victoria and The Proposed Hydrological Curve Change. New Release Regime for Bujagali Dam Would Slow Recovery of Lake. 2007.
- Laine P. Water protection steps and waste water loading of pulp, paper and kraftline mills on the southern Lake Saimaa // *Proceedings of the second International Lake Ladoga symposium*. Joensuu. 1997. P. 339-343.
- Laine P., Minkkinen P. Pien- ja Suur-Saimaan kemiallisenmetsäteollisuuden jättesäätökehityksen kehitys ja sen vaikutus vesistön veden laatuun // *Saima-*

- aseminaari. Joensuun yliopisto. Joensuu. N 122. 1998. P. 140-148.
- Lall, U. and M. Mann, "The Great Salt Lake: A Barometer of Low-Frequency Climatic Variability," *Water Resources Research*, 31(10). 1995. P.2503-2515.
- Lamberts D. The Tonle Sap Lake as a Productive Ecosystem. *Water Resources Development*, Vol. 22, No. 3. 2006. P.481-495.
- Landmann G., Reimer A., Kempe S. Climatically induced lake level changes at Lake Van, Turkey, during the Pleistocene/Holocene Transition. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 10 (4). 1996. P. 797-808.
- Langenberg V. Nyamushahu S. Nutrient Precipitation in the Northern Part of Lake Tanganyika. Finnish International Development Agency. Food And Agriculture Organization of The United Nations. Bujumbura, October 19GCP/RAF/271/FIN-TD/75. 1997
- Langenberg, V., Nyamushahu, S., Rooijackers, R., Koelmans, A.A., External nutrient sources for Lake Tanganyika. *J. Great Lakes Res.* 29. 2003a. P.169-180
- Langenberg, V. T., S. Nyamushahu, R. Rooijackers, and A. A. Koelmans. External Nutrient Sources for Lake Tanganyika. *J. Great Lakes Res.* 29 (Supplement 2). 2003b. P/169-180.
- Larkin P. A. Canadian lakes // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V. XV. 1964. P. 76-90.
- Laval B.E., Imberger J. Findikakis A.N. Dynamics of a large tropical lake: Lake Maracaibo. *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries* Vol. 67 (3), 2005. P. 337-349
- LBRI&ILECF. Data book of world lake environments - a survey of the state of world lakes (1991 Report). Lake Biwa Research Institute & International Lake Environment Committee Foundation. United Nations Environment Programme. Otsu and Kusatsu. 1988.
- LBRI&ILEC. Data book of world environments. A survey of the State of World Lakes. ed. by Lake Biwa Research Institute & International Lake Environment Committee. Interim Report II. Otsu, 1987-1989. 1989.
- LBRI&ILEC, Data Book of World Lake Environments. A survey of the state of world lakes. 1990 Report. Otsu Lake Biwa Research Institute & International Lake Environment Committee. 1990,
- LBRI&ILECF. Data book of world lake environments - a survey of the state of world lakes (1991 Report). Lake Biwa Research Institute & International Lake Environment Committee Foundation. United Nations Environment Programme. Otsu and Kusatsu. 1991.
- LBRI&ILEC. Data book of world lake environments - a survey of the state of world lakes (1993 Report). Lake Biwa Research Institute & International Lake Environment Committee Foundation. United Nations Environment Programme. Otsu and Kusatsu. 1993.
- LCBC. The Lake Chad Conventional Basin: A diagnostic study of environmental degradation. Report prepared by Janusz Kindler et al . for Lake Chad Basin Commission. 1990.
- Leblanc M., Favreau G., Maley J., Nazoumou Y., Leduc C., Stagnitti F., van Oevelen P.J., Delclaux F. and Lemoalle J. Reconstruction of Megalake Chad using Shuttle Radar Topographic Mission data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 329 (1-2). 2006. P. 16-27
- Lehman J.T., Litt A.H., Mugidde R., Lehman D.A. Nutrients and plankton biomass in the rift lake sources of the White Nile: Lakes Albert and Edward. in b. Lehman J.T. (ed.), *Environmental Change and response in East Africa Lakes*, Kluwer Academic Publishers. 1998. P. 157-172.
- Lemoalle, J. L'activite photosynthetique du phytoplancton en relation avec le niveau des eaux du lac Tchad (Afrique). *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 19. 1975. P.1398-1403
- Lemoalle J., Favreau G., Seidel J.-L., Zairi R. Changes in Lake Chad water chemistry during a drought period. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 06285, 2005. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-06285.
- Lemoalle J., Bader J.-C. Leblanc M. The variability of Lake Chad : hydrological modelling and ecosystem services. *Proc. 13th IWRA World Water Congress 2008*, 01-04 September 2008, Montpellier, France. 2008. P.15.
- Leng R A., Preston T R, Rodríguez L. El crecimiento explosivo de lemna en el Lago Maracaibo: Evaluación de las causas y Propuestas para el futuro. Report for Fundación Universidad para la Agricultura Tropical (UTA) Caracas, Julio 21 del 2004 Web: [www.utafoundation.org](http://www.utafoundation.org)
- Le Sourd G., Rizzolio D. United Nations Environment Programme — Lake Balkhash UNEP Global Resource Information Database. 2004.
- Li Y., Deng J., Sun Z. A study on the flood storage capacity in Dongting Lake. *International Journal of Sediment Research*, Vol. 18, No. 2. 2003. P. 138-147.
- Li Y.-S., Raso G., Zhao Z.-Y., He Y.-K., Ellis M.K., McManus D. P. Large water management projects and schistosomiasis control, Dongting Lake Region, China.(SYNOPSIS). *Emerging Infectious Diseases.* 2007.
- Li Z. Xie Y., Yi J. The Eutrophication Evaluation of Dongting Lake Based on Support Vector Machine Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Application (IWISA 2009) *Qingdao, China, November 21-29.* 2009.
- Lieng, S. & van Zalinge, N. Fish yield estimation in the



- floodplains of the Tonle Sap Great Lake and River, Cambodia, Technical Paper Series, Vol. III, pp. 23–26, (Phnom Penh: Inland Fisheries Research and Development Institute). 2001.
- Lindell M., Bremle G., Broberg O., Larsson P. Monitoring of persistent organic pollutants (POPs): examples from lake Vattern, Sweden // *AMBIO*. V.30. N 4. 2001. P.545-551.
- Lindstrom L. Mercury in sediment and fish communities of Lake Vanern, Sweden: recovery from contamination // *AMBIO*. V.30. N 4. 2001. P. 538-544.
- Liti, D., Kallqvist, T., Lien, L. Limnological aspects of Lake Turkana, Kenya. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 24. 1991. P.1108-1111
- Livingstone D. & Waller H. (Ed). *The Last Journals of David Livingstone in Central Africa from 1865 to his Death. (Two Volumes)*. John Murray. 1874.
- Livingstone D.A. Sedimentation and the history of water level change in lake Tanganyika, *Limnol. Oceanogr.* 10 (1965). 1965. P. 607–610.
- Lombardozi D. The effect of deforestation on nutrients concentrations in tributaries of Lake Tanganyika. Nyanza Project 2003 Annual Report. 2003, Web: <http://www.geo.arizona.edu/nyanza/pdf/Lombardozi.pdf>
- Loving, B. L., Waddell, K. M., 2000, Water and salt balance of Great Salt Lake, Utah, and simulation of water and salt movement through the causeway, 1987-1998: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4221
- Lubovich K. Cooperation and Competition: Managing Transboundary Water Resources in the Lake Victoria Region. USAID & FESS Working Paper No. 5 2009 Web: [http://www.fess-global.org/WorkingPapers/Lake\\_Victoria\\_Working\\_Paper.pdf](http://www.fess-global.org/WorkingPapers/Lake_Victoria_Working_Paper.pdf)
- Mabbutt, J.A. *Desert Landforms*. Austral. Nat. Univ. Press, Canberra. 1977.
- Machiwa, P. K. Water quality management and sustainability: The experience of Lake Victoria Environmental Management Project (LVEMP)—Tanzania. Paper presented at the WaterNet/Warfa Symposium, Dar es Salaam. 2002.
- Magnet et al. Pêche et pisciculture dans le Bassin Tchadienne. Dans l'Atlas d'Elevage du Bassin du Lac Tchad . CIRAD/CTA. 1996.
- Mailu, M.N. Preliminary assessment of the social, economic and environmental impacts of Water Hyacinth in Lake Victoria basin and status of control. In *Biological and integrated control of water hyacinth*, ed. M.H. Julien, M.P. Hill, T.D. Center, and Ding Jianqing, 130–139. ACIAR Preceedings 2001. Web: [http://iodeweb1.vliz.be/odin/bitstream/1834/1292/1/Proc102\\_21\\_Mailu.pdf](http://iodeweb1.vliz.be/odin/bitstream/1834/1292/1/Proc102_21_Mailu.pdf).
- Majaliwa, J.G.M., Magunda, M.K., Tenya, M.M. and Musitwa, F. Soils and nutrient losses from major agricultural land use practice in the Lake Victoria basin. *Paper presented at Regional Scientific Conference, held at Kisumu Kenya*. 2001.
- Makhanu K.S. Impact of Water hyacinth in Lake Victoria. In: *Water and Sanitation for all: Partnerships and Innovations*. 23rd Water Engineering and Development Centre Conference Durban, South Africa. 1997.
- Marcarelli A. M., Mills M.D., Wurtsbaugh W.A. The Great Salt Lake Doesn't Stink...But Farmington Bay Does! *FRIENDS of Great Salt Lake Newsletter* 7(2): 5, 13; 7(4): 2001. P.4.
- Martin Ph. and O'Meara P. *Africa*. 3rd edition. Indiana University Press. 1995.
- Matheson D.H., Munawar M. Lake Superior basin and its development // *J. of Great Lakes Research*. V. 4, n. 1. 1978. P. 249-263.
- Matsui S., Keskinen M., Sokhem P., Nakamura M. Tonle Sap. Experience and Lessons Learned Brief 2006. Web: [http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/25\\_Lake\\_Tonle\\_Sap\\_27February2006.pdf](http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/25_Lake_Tonle_Sap_27February2006.pdf)
- Mavuti, K.H., Litterick, M.R. Composition, distribution and ecological role of zooplankton community in Lake Victoria, Kenya waters. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 24. 1991. P.1117-1122
- McCrary J. K., Van Denberghe E.P., Mckaye K.R. A Breeding Population of *Theraps underwoodi* (Teleostei: Cichlidae) on Ometepe Island, Nicaragua, and Implications for its Dispersal Mechanisms. *Caribbean Journal of Science*, Vol. 41 (4). 2005. P. 874-876.
- McKaye, K. R., Ryan J. D., Stauffer J. R., Lopez Perez Jr., L. J., Vega G. I., Van den Berghe E. P. African tilapia in Lake Nicaragua. *Bioscience* 45. 1995. P. 406-411.
- McMahon T.A., Murphy R., Little P., Costelloe J.F., Peel M.C., Chiew F.H.S., Hayes S., Nathan R., Kandel D.D. Hydrology of Lake Eyre Basin. 130 p. 2005. *WCMS\Projects\WC03272\Deliverables\final report\LakeEyreHydrol\_final.doc*
- McNaught, D.C., Chen, W., Cai, H.J. Grazing on a Microcystis bloom by cladocerans and copepods in Tai Lake. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 26. 1995. P. 550-552
- Mercier, F., Cazenave, A., Maheu, C. Interannual lake level fluctuations (1993-1999) in Africa from Topex/Poseidon: connections with ocean-atmosphere interactions over the Indian Ocean. *Global and*

- Planetary Changes 32. 2002. P.141-163.
- Miller N.L. Climate Vulnerability Assessments of Water Utilities in the Lake Victoria Basin. United Nations – Habitat Project. . World Water Week Stockholm, Sweden 17 August 2009
- Mitamura O., Khadbaatar D., Ishida N. Comparative investigation of chemical and biological characteristics in waters and trophic state of Mongolian lakes. *Limnology* vol. 11. 2010. P. 17–30.
- Mirabdullayev I., Abdullaeva L., Musaev A., Zholdasova I., Mustafaeva Z. and Jumaniezova N.. Sharp fluctuations in ecosystem parameters of the East Big Aral // *Geophysical Research Abstracts*, 9. 2007. P.772.
- Mockrin M., Thieme M. Lake Chad flooded savanna (AT0904). Web: [World Wildlife Fund © 2001 http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/at/at0904\\_full.html](http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/at/at0904_full.html)
- Mohebbi F, Asadpour Y, Esmaeili L, Javan S: Phytoplankton population dynamics in Urmia Lake. *14th National & 2nd International Conference of Biology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran* . 29–31 August 2006.
- Moll R.A., Rossmann R., Rockwell D.,C., Chang W.Y.B. Lake Huron Intensive Survey. Special Report № 110. Michigan. 1985. P.289.
- Montenegro-Guillén S. Lake Cocibolca/Nicaragua. Lake Basin Management Initiative. Experience and Lessons Learned Brief. Proc. of Lake Basin Management Initiative Regional Workshop for Europe, Central Asia and the Americas held at Saint Michael's College in Vermont, USA, 18-21 June 2003. 2003. P.29.
- Moreau, J., Munyandorero, J., Nyakageni, B. Evaluation des paramètres démographiques chez *Scolothrissa tanganyikae* et *Limnothrissa miodon* du lac Tanganyika. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für Limnologie* 24. 1991. P.2552-2558.
- Morgan, D.L. *The Great Salt Lake*. Salt Lake City: University of Utah Press. ISBN 0-87480-478-7. 1947.
- Mothersill, J.S., Freitag, R., Barnes, B. Benthic macroinvertebrates of Northwestern Lake Victoria, East Africa: Abundance, distribution, intra-phyletic relationships and relationships between taxa and selected element concentrations in the lake-bottom sediment. *Hydrobiologia*, 74. 1980. P.215-224.
- MRCS/WUP-FIN (Mekong River Commission Water Utilization Programme - Modelling of the Flow Regime and Water Quality of the Tonle Sap). Integrated Water Resources Management on the Tonle Sap Lake. Cambodia International Journal of Water Resources Development, Volume 22, Issue 3, 2006.
- MRLSD (Promotion Association for Mountain-River-Lake Regional Sustainable Development) сайт организации.
- Msiska, O.V. A review of the limnology of Malawi. Pp. 121-189 *In*, Wetzel, R.G., and B. Gopal (eds.), *Limnology in developing countries* 3. Societas Internationalis Limnologiae. 2001.
- Msukwa A. Ecological Aspects Of The Ornamental Fish Of Lake Malawi And Their Implications In Relation To Exploitation And Conservation Proceeding of Lake Malawi fisheries management symposium. 2001. P. 9-10.
- Mugidde R., Hecky R.E., Hendzel L. Importance of planktonic nitrogen fixation in Lake Victoria. Paper presented at LVEMP Conference, Kisumu, Kenya. 2001.
- Mukabana J.R. and Pielke R.A. Investigating the influence of synoptic scale winds and meso-scale circulations and diurnal weather patterns over Kenya using a meso-scale numerical model. *Monthly Weather Review* 124. 1996. P.224–243.
- Munawar M., Munawar I.F. The seasonality of phytoplankton in the North American Great Lakes, a comparative synthesis // *Hydrobiologia*. V. 138. 1986. P. 85-115.
- Munawar M., Munawar I.F., Mc Carthy L.H. Phytoplankton ecology of large eutrophic and oligotrophic lakes of North America: Lakes Ontario and Superior // *Arch. fur Hydrobiologie Beihefte Ergebnisse der Limnologie*. V.25. 1987. P. 51-96.
- Muvundja F.A., Pasche N., Bugenyi F.W.B., Isumbusho M., Müller B., Namugize J.-N., Rinta P., Schmid M., Stierli R., Wüest A. Balancing Nutrient Inputs to Lake Kivu. *Journal of Great Lakes Research* 35 (3). 2009. P. 406-418.
- Nagoshi, M. Growth and survival in larval stage of the genus *Lamprologus* (Cichlidae) in Lake Tanganyika. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für Limnologie* 22. 1985 P. 2663-2670.
- Nahtigal, G. Sahara and Sudan. volume I: *Fezzan and Tibesti*; volume II: *Kawar, Bornu, Kanem, Borku, Ennedi*; volume III: *The Chad Basin and Bagirmi*; volume IV: *Wadai and Darfur*. Translated from the original German with an Introduction and Notes by Allan G. B. Fisher and H. J. Fisher. London — New York — Berkeley - 1971-1987
- Naithani, J., Deleersnijder, E., Plisnier, P.-D. Analysis of wind-induced thermocline oscillations of Lake Tanganyika. *Environ. Fluid Mech.*, 3. 2003. P.23-39.
- Naithani J., Plisnier P.-D., Deleersnijder E. Ecosystem of Lake Tanganyika. 2006 Web: [http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/lake2006/programme/programme/lake2006\\_Pdf/JayaNaithani.pdf](http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/lake2006/programme/programme/lake2006_Pdf/JayaNaithani.pdf)
- Naithani, J., Darchambeau F., Deleersnijder E. Descy J.P., Wolansky E.. Study of the nutrient and plankton dynamics in Lake Tanganyika using a reduced-gravity



- model. Ecological modelling 200. 2007. P. 225–233
- Nalepa T.F. Long-term changes in the macrobenthos of Southern Lake Michigan // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 44, n. 3. 1987. P. 515-524.
- NASA. Water hyacinth reinvades Lake Victoria. 2007. Web: [http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img\\_id=17560](http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17560).
- Naumenko M.A. Seasonality and trends in the Secchi disk transparency of Lake Ladoga //European Large Lakes. Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts. Springer. 2008. P. 59-65.
- Nayar A. A lakeful of trouble. *Nature*, 460. 2009. P.321-323.
- Nemec, J. Water resources system and climate change. In: *Facets of Hydrology II* (ed. by J.C.Rodda). John Wiley. 1985.
- Ngatunga B.. The need to maintain maximum biodiversity in Lake Nyasa, lessons drawn from other biodiversity disaster. Proceeding of Lake Malawi fisheries management symposium. 2001. P. 6
- Nguyen, X. T. and V. H. Nguyen, A summary of the Report on the Freshwater Fisheries Resources Survey in Cambodia (1986–1988), Ministry of Fisheries, Socialist Republic of Vietnam. Hanoi 1991. 2001. P.12.
- Nindi S. J. Changing livelihoods and the environment along Lake Nyasa, Tanzania. *African Study Monographs*, Suppl.36, March 2007. 2007. Pp. 71-93.
- Njiru M., Ntiba M., Tweddle D., Mavuti K.M. Phytoplankton diversity and the feeding behavior of *Oreochromis Niloticus* (L) in Lake Victoria. Paper presented at LVEMP Conference, Kisumu, Kenya. 2001.
- Noges T., Laugaste, R., Loigu, E., Nedogarko, I., Skalkalski, B., Nõges, P. Is the destabilisation of Lake Peipsi ecosystem caused by increased phosphorus loading or decreased nitrogen loading? Proc. of Diffuse Pollution Conference Dublin 2003, 2003.p. 8-1 – 8-7.
- Northcote T.G., Larkin P. A. Western Canada // Limnology in North America . Madison. 1963. P. 451 – 485.
- Nutrient loads to Lake Peipsi. Environmental monitoring of Lake Peipsi / Chudskoe 1998-1999. - Jordforsk: Swedish Environ. Protection Agency. Rep. №4/01. 1999. 66 p.
- Nzombo R. Sustainable Management of African Lakes – the Case of Lake Victoria. Proceeding of First Living Lakes African Regional Conference on 27th – 30th October 2005, at Imperial Hotel, Kisumu, Kenya. 2005.
- Ochieng H., Wanda F.M., Balirwa J.S., Ocaya H., Aguzu A. & Naluwairo J. Status of pollution in Lake Albert with special reference to nutrients and heavy metals. 2009. Web: <http://www.firi.go.ug/Publications/Publications/Lake%20Albert%20presentation/Pollution%20status%20Lake%20Albert%20wshop%20prstn%20Jan%202008%20Ochieng.pdf>
- Ochumba, P.B.O. Massive fish kills within the Nyanza Gulf of Lake Victoria, Kenya. *Hydrobiologia*, 208. 1990. P. 93-99
- O'Connor, R. Aquatic macroinvertebrates of Cambodia (freshwater). In: J. Smith (compiler and editor). Biodiversity, the life of Cambodia. Cambodia's Biodiversity Status Report –2001, Cambodia Biodiversity Enabling Activity. Phnom Penh, Cambodia, 2001. P. 81–86.
- Ogutu-Ohvaio R. The fisheries of Lake Victoria. Harvesting biomass at the expense of biodiversity. 2001. Web: [http://www.unep.org/bpsp/Fisheries/Fisheries%20Case%20Study%20Summaries/Ogutu\(Summary\).pdf](http://www.unep.org/bpsp/Fisheries/Fisheries%20Case%20Study%20Summaries/Ogutu(Summary).pdf)
- Okonga J.R. A review of estimation of rainfall and evaporation over Lake Victoria. Directorate of Water Development, Water Resources Management Department, Entebbe. Paper presented at LVEMP Conference, Kisumu, Kenya. 2001.
- Olago D.O. Some key challenges in promotion ILBM in the East Africa region with particular reference to the Lake Victoria Basin. 2009.
- Onganga O., Righa M. Dynamics of Sewage Spillage and Storm Water Pollution on Lake Victoria Basin- A Case Study of Kisumu Municipality. Proceedings of 13th World Lake Conference. Wuhan, November 1-5, 2009.
- O'Reilly C., Alin S., Plisnier P.D., Cohen A., McKee B. Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa; *Nature* 424. 2003. P.766 - 768
- Odada E.O., Oyebande L., Ogundola J.A. Lake Chad. Experience and lessons learned brief. 2006. Web: [http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/06\\_Lake\\_Chad\\_27Febuary2006.pdf](http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/pdf/06_Lake_Chad_27Febuary2006.pdf)
- Oguntola, JA. GIWA Lake Chad, Sub-Region 43, Scaling and Scoping Report . GIWA: Stockholm, Sweden. 2003.
- Olivry J.-C., Chouret A., Vuillaume G., Lemoalle J., Bricquet J.-P. Hydrologie du Lac Tchad. Paris. ORSTOM. 1996. P. 206. ISBN: 2-7099-1353-4
- Onyekakeyah L. Lake Chad: A Study of a Drying Freshwater Body. 2008. Web: <http://www.riversymposium.com/index.php?element=ONYEKKEYAH>
- Orlova M.I., Aladin N.B., Filippov A.A., Plotnikov I.S., Smurov A.O., Rusacova O.M., Zhakova L.V., Piriulin

- D.D. Living associations of the Northern part of the Aral Sea in 1993-1995. Ecological Research and Monitoring of the Aral Sea Deltas. A basis for restoration. UNESCO Aral Sea Project. 1992-1996 Final Scientific Report, UNESCO, Paris. 1998. P. 95-139.
- Owen, R.B., Crossley R., Johnson T.C., Twedle D., Kornfield I., Davison S., Eccles D.H., and Engstrom D.E.. Major low levels of Lake Malawi and their implications for speciation rates in cichlid fishes. Proc. R. Soc. Lond. 240. 1990. P.519-553.
- Parra-Pardi G. Cone-shaped hypolimnion and local reactor as outstanding features in eutrophication of Lake Maracaibo. J Great Lakes Res 9. 1983. P.439-451
- Pascal E., Mwanuzi F., Kimwaga R. Study of Nitrogen Transformation in Lake Victoria Catchment and Lake Research. LARS 2007. P. 148-155 Web: <http://www.uni-siegen.de/fb10/fwu/ww/publikationen/volume0607/emmanuel.pdf>
- Patalas K. The crustacean plankton communities of fourteen North American great lakes // Verh. Internat. Verein. Limnol. V. 19. 1975. P. 504-511.
- Patalas K. Patterns in Zooplankton Distribution and Their Causes in North American Great Lakes // Large Lakes. Ecological Structure and Function. Springer-Verlag . 1990. P. 440-458.
- Paton, P.W.C., Kneedy, C., and Sorensen, S. Chronology of shorebird and ibis use of selected marshes at Great Salt Lake. Utah Birds 8. 1992. P.1-19.
- Peng D., Xiong L., Guo Sh., Shu N. Study of Dongting Lake area variation and its influence on water level using MODIS data. Hydrological Sciences J. vol. 50 (1). 2005. P.31-44.
- Persson G., Olsson H., Wiederholm T., Willen E. Lake Vattern, Sweden: A 20-year perspective //AMBIO. V.18. N 2. 1989. P.208-215.
- Peterson G. Water Hyacinth Re-invades Lake Victoria. 2007. Web: <http://rs.resalliance.org/2007/02/22/water-hyacinth-re-invades-lake-victoria/>
- Penny, D. Sedimentation rates in Tonle Sap, Cambodia. Report to the Mekong River Commission. 2002. P.12.
- Phiri, P.M., Day R.K., Chimatiro S., Hill M.P., Cock M.J.W., Hill M.G., and Nyando E.. Progress with biological control of water hyacinth in Malawi. Pages 47-52 In Julien, M.H., M.P. Hill, T.D. Center, and D. Jianqing (eds.), Biological and integrated control of water hyacinth, *Eichornia crassipes*. ACIAR Proceedings 102. 2001.
- Phytoplankton Dynamics in the North American Great Lakes. V. 2. Backhuys Publishers Leiden. The Netherlands. 2000. P.243.
- Plisnier P.D., Serneels S. & E.F. Lambin. Impact of ENSO on East African ecosystems: a multivariate analysis based on climate and remote sensing data", *Global Ecology & Biogeography* (2000) 9. 2000. P. 481-97.
- Plisnier P.-D., D. Chitamwebwa, L. Mwape, K. Tshibangu, V. Langenberg and E. Coenen, Limnological annual cycle inferred from physical-chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia* 407. 1999. P. 47-61.
- Pollinger U. Effects of Latitude on Phytoplankton Composition and Abundance in Large Lakes //Large Lakes. Ecological Structure and Function. Springer-Verlag. 1990. P. 368-402.
- Powell T., Kirkish, M.H., Neale, P.J., Richerson, P.J. The diurnal cycle of stratification in Lake Titicaca: Eddy diffusion. Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie, 22. 1984. P.1237-1243
- Poyang Lake Ecology Study. Siberian crane wetland project. China National Coordination Unit National Bird Banding Center China Academy of Forestry PO. 2008.
- Priscu J.C., Adams E.E., Lyons W.B., Voytek M.A., Moryk D.V. Geomicrobiology of subglacial ice above Lake Vostok, Antarctica. Science, 286. 1999. P. 2141-2144.
- Priscu J.C., Kennicutt II M.C., Bell R.E. et al. Exploring subglacial antarctic lake environments EOS. Vol. 86. 2005. P. 193-197.
- Ryahi H, Soltani N, Shokravi Sh: Study of Urmia Lake algae flora. *Scientific Journal of Padjushesh va Sazandegi* 25. 1994. P.23-25.
- Pyron M., Obert E.C., Wellington R. Tuner rates and population estimates of brown butthead (*Ameiurus nebulosus*) in Presque Isle Bay, Lake Erie // J. of Great Lakes Research. V.27, n. 2.2001. P. 185-190.
- Rainboth, W. J. FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes. Fishes of the Cambodian Mekong (Rome: FAO). 1996.
- Ramsar wetlands. 2006. 5.9. Zambia. Web: <http://ramsar.wetlands.org/Portals/15/ZAMBIA.pdf>
- Rawley, E.V. Wildlife of the Great Salt Lake. In J.W. Gwynn, ed. Great Salt Lake: A Scientific, Historical and Economic Overview. Utah Department of Natural Resources, Salt Lake City, Utah. 1980. P 287-303.
- Redfield, A.C., Doe E.L.A. Lake Maracaibo. Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie, 15. 1964. P.100-127.
- Reimer A. Landmann . Kempe S. Lake Van, Eastern Anatolia, Hydrochemistry and History Aquat Geochem (2009) 15. 2009. P.195-222.

- Reinart A., Valdmets K. Variability of optical water types in Lake Peipsi. Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol., 56 (1). 2007. P.33-46.
- Revollo M. F., Cruz M.L., Rivero A.L. 2006. Lake Titicaca Experience and lessons learned brief. Web: [http://www.worldlakes.org/uploads/23\\_Lake\\_Titicaca\\_27February2006.pdf](http://www.worldlakes.org/uploads/23_Lake_Titicaca_27February2006.pdf)
- Revollo M. M. Management issues in the Lake Titicaca and Lake Poopo system: Importance of developing a water budget. Lakes & Reservoirs: Research & Management, vol. 6 (3). 2008. P. 225-229
- Richerson, P.J, Widmer, C., Kittel, T., Landa, A. A survey of the physical and chemical limnology of Lake Titicaca. Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie, 19. 1975. P.1498-1503
- Richerson, P.J., Heath, J.C. Patterns of temporal variation in Lake Titicaca, a high altitude tropical lake. II. Succession rate and diversity of the phytoplankton. Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie, 23. 1987. P.734-738.
- Ridley G.P., Gudlip W., Laxon S. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter. J. of glaciology. vol.339 (133). 1993. P. 623-634.
- Rivera, C., Kistritz, R.U., Morales, P., Garnica, J.P., Zea, W.F., Northcote, T.G. Assessing the use of aquatic plants for wastewater treatment in a high elevation tropical lake. Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie, 24. 1991. P. 1178-1182.
- Rhode D., Haiying Z., Madsen D.B., Xing G., Brantingham P.J., Haizhou M., Olsen J.W. Epipaleolithic/early Neolithic settlements at Qinghai Lake, western China. Journal of Archaeological Science 34. 2007. P. 600-612.
- Robben, J., van den Audenaerde, D.T. A preliminary study of the age and growth of the Cyprinid fish *Barilius moorii* Blgr. from Lake Kivu. Hydrobiologia, 108. 1984. P.153-163
- Robin G. de Q. Ice movement and temperature distribution in glaciers and ice sheets. J. of Glaciology, vol.2 (8). pp.523-532.
- Roche M. Lake Chad: a subdesertic terminal basin with fresh waters. In b. Desertic terminal lakes. Proc. International Conference on Desertic Terminal Lakes. Weber State College, Ogden, Utah. 1977. P. 213-223.
- Rojas, J.E.; Severeyn, H.; Delgrado, J.; Godoy, A. Foul-ing communities associated to artificial substrates (pine-wood) under environmental stress conditions in Lake de Maracaibo, Venezuela. OCEANS apos;96. MTS/IEEE. apos; Prospects for the 21st Century-apos;. Conference Proceedings Vol. 3. Issue , 23-26 Sep 1996. P.1447 – 1450.
- Romanovsky V.V. Water level variations and water balance of Issyk-Kul Lake. In b.: Lake Issyk-Kul: its natural environment ed. by J. Klerkx, B. Imanackunov. NATO Science series IV: Earth and Environmental Sciences. vol. 13, 2002. P. 45-59.
- Rufli, H. Seasonal abundance of zooplankton and the planktivorous fish, *Stolothrissa*, in Tanzanian waters of Lake Tanganyika.” In: Munawar, M. and RE Hecky (eds.), *The Great Lakes of the World (GLOW), Food-Web, Health and Integrity*. Backhuys Publishers: Leiden, The Netherlands. 2001. “
- Rugumayo A., Kayondo D. Flood analysis and mitigation on Lake Albert, Uganda. Advances in geosciences. Hydrological Science, vol. 4. 2010. P. 31-45
- Rumyantsev V., Drabkova V. Strategies for ecological sustainability assessment in Lake Ladoga as a basis for human impact control //Proceedings of the second International Lake Ladoga symposium. Joutsuu. 1997. P. 402-409.
- Russell J.M., Johnson T.C. The Water Balance and Stable Isotope Hydrology of Lake Edward, Uganda-Congo Journal of Great Lakes Research 32(1). 2006. P. 77-90.
- Russell J.M., Johnson T.C. A high-resolution geochemical record from Lake Edward, Uganda Congo and the timing and causes of tropical African drought during the late Holocene. Journal of Great Lakes Research. 30. 2004.
- Saimaa, a Living Lake ( ed. E. Kuusisto). Helsinki. 1999. P. 205.
- Saimaan alueen vesien kayton kokonaisuunniteema //Vesihallituksen julkaisu. Helsinki. N.42. 1983. P.91.
- Salonen, K., J. Sarvala, M. Järvinen, V. Langenberg, M. Nuottajärvi, K. Vuorio and D.B.R. Chitamwebwa. Phytoplankton in Lake Tanganyika – vertical and horizontal distribution of in vivo fluorescence, Hydrobiologia, 407. 1999. P.89-103.
- Sarkkula, J., Baran, E., Cheng, P., Keskinen, M., Koponen, J., and Kumm, M. Tonlesap pulsing system and fisheries productivity Contribution to the XXIXe International Congress of Limnology (SIL 2004), Lahti, Finland, 8-14 August 2004.
- Sarmiento H., Isumbisho, M. & J-P. Descy Phytoplankton Ecology of Lake Kivu (Eastern Africa), Journal of Plankton Research, 28(9). 2006. P.815-829.
- Sarmiento H., Leitao M., Stoyneva N., Compere P., Coute A., Isumbisho M., Descy J.-P., Species diversity of pelagic algae in Lake Kivu (East Africa). Algologie, vol. 28 (3). 2007. P. 245-269.
- Sarmiento H., Isumbisho M., Stenuite S., Darchambeau F., Leporcq B., Descy J.-P. Phytoplankton ecology of Lake Kivu (eastern Africa): biomass, production and elemental ratios. Verh. Internat. Verein. Limnol. 2009, vol. 30, Part 5. 2009. P. 709–713.
- Sarmiento R., Kirby R. A. Recent Sediments of Lake

- Maracaibo. *J. of Sedimentary Research* Vol. 32. 1962.
- von Sarnowski A. The artisanal fisheries of Lake Albert and the problem of overfishing. "Rural poverty reduction through research for development" Proc. Deutscher Tropentag, October 5-7. 2004, Berlin. 2004.
- Savvaitova K.A., Petr T. Fish and fisheries in Lake Issyk-Kul (Tien Shan), river Chu and Pamir lakes. FAO Fisheries Technical Paper T385. 1999. 304 p.
- Shabunin G.D., Shabunin A.G. Climate and physical properties of water in Lake Issyk-Kool. In b.: Lake Issyk-Kul: its natural environment ed. by J. Klerkx, B. Imanackunov. NATO Science series IV: Earth and Environmental Sciences. vol. 13. 2002. P. 2-12.
- Schelske G.L., Roth O.C. Limnological survey of Lakes Michigan, Superior, Hyron and Erie // Great Lake Res. Div. Univ. of Michigan. Publ. 17.
- Schmid, M., M. Halbwegs, B. Wehrli, and A. Wüest. Weak mixing in Lake Kivu: new insights indicate increasing risk of uncontrolled gas eruption. *Geochemistry, Geophysics, and Geosystems* **6**. 2005. Q07009, doi:07010.01029/02004GC000892.
- Schoell, M., K. Tietze, and S. M. Schoberth. Origin of methane in Lake Kivu (East-Central Africa). *Chemical Geology* **71**. 1988. P. 257-265.
- Scott WE, McCoy WD, Shroba RR et al Reinterpretation of the exposed record of the last two cycles of Lake Bonneville, western United States. *Quat Res* **20**. 1983. P. 261-285.
- Shahgedanova M. The Physical Geography of Northern Eurasia. — Oxford University Press . 2002. P.571.
- Shich K., Flaccus K., Malagarasi River Delta Sedimentology: Evidence of Lake Level Changes in L. Tanganyika Web: <http://www.geo.arizona.edu/nyanza/pdf/ShickFlaccus.pdf>
- Siegert M.J., Tranter M., Ellis-Evans J.C., Priscu J.C., Berry W. The hydrochemistry of Lake Vostok and the potential for life in Antarctic subglacial lakes. *Hydrobiological Processes*, **17**. 2003. P. 795-814.
- Smirnova L. Multipurpose use of water resources //Proceedings of a workshop on environmental data systems for large lakes. Joensuu. 1999. P. 93-99.
- Snoeks, J. The non-cichlid fishes of the Lake Malawi system: a compilation. In (J. Snoeks, ed.) *The Cichlid Diversity of Lake Malawi/nyasa/niassa: Identification, Distribution and Taxonomy*, Cichlid Press, El Paso, Texas. 2004. P. 20-26.
- Sokhem P., Sunada K. The Governance of the Tonle Sap Lake, Cambodia: Integration of Local, National and International Levels. *Water Resources Development*. Vol. 22, No. 3. 2006. P. 399-416
- Soucek S. A History of Inner Asia . — Cambridge University Press. 2000. P. 369.
- Spencer RJ, Baedeker MJ, Eugster HP et al Great Salt Lake and precursors, Utah: the last 30,000 years. *Con Min Pet* **86**. 1984. P.321-334.
- Stephens, D. A summary of biological investigations concerning the Great Salt Lake, Utah (1861-1973): *Great Basin Naturalist*, v. 34, no. 3. 1974. P. 221-229.
- Stephens D. W., Gillespie D. M. Phytoplankton production in the Great Salt Lake, Utah, and a laboratory study of algal response to enrichment. *Limn. and Ocean.* vol 21(1). 1976. P.74-87
- Sverdrup-Jensen, S. Fisheries in the Lower Mekong Basin: Status and Perspectives. MRC Technical Paper No. 6 (Phnom Penh: Mekong River Commission). 2002.
- Swarzenski P. 1999. USGS Heads to Lake Tanganyika to Study Delivery of River-Borne Contaminants. Web: <http://soundwaves.usgs.gov/1999/11/fieldwork.html>
- Taige L. Crisis at Poyang Lake. Li Taige reports from Jiangxi province. Dam projects, pollution and climate change threaten the future of China's largest freshwater lake. China and the world discuss the environment. 2008. Web: <http://www.chinadialogue.net/homepage/show/single/en/1846-Crisis-at-Poyang-Lake>
- Talling J. F. Origin of Stratification in an African Rift Lake *Limnology and Oceanography*, Vol. 8, No. 1. 1963. P. 68-78.
- Talling J.F. and Talling I.B. The chemical composition of African Lakes Waters. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* **50**. 1965. P.1-32.
- Talling, J.F. The annual cycle of stratification and phytoplankton growth in Lake Victoria (East Africa). *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* **51**. 1966. P.545-621.
- Tanganyika Collection Дмитриев П., Шелестов И. Озеро Танганьика "етанга янья" Web: <http://www.tanganyika-collection.ru/index.php?mod=tanga>
- TED Case Studies: Lake Victoria Web: <http://www1.american.edu/TED/victoria.htm>
- The Great Lakes. An Environmental Atlas and Resource Book // United States Environmental Protection Agency and Environmental Canada. 1987. P.44.
- The Great Lakes Drainage Basin. Environment Canada. Web: <http://www.ec.gc.ca/grandslacs-greatlakes/default.asp?lang=En&n=03B3F448>
- Thiel V., Jenisch A., Landmann G., Reimer A., Michaelis W. Unusual distributions of long-chain alkenones and tetrahymanol from the highly alkaline Lake Van, Turkey. *Geochimica et Cosmochimica Acta* № 61. 1997.
- Thorson T.B. The impact of commercial exploitation on sawfish and shark populations in Lake Nicaragua.



- Fisheries*, Vol. 7 (2). 1982. P.10.
- Timm, T., Kangur, K., Timm, H., Timm, V. Macrozoobenthos of Lake Peipsi. Pihkva, taxonomical composition, abundance, biomass, and their relations to some ecological parameters. – *Hydrobiologia* **338**. 1996. P.133-138.
- Timm T., Kangur K., Timm H. and Timm V. Zoobenthos. In: *L. Peipsi. Flora and Fauna*, E. Pihu and J. Haberman (eds.), Sulemees, Tallinn. 2001. P. 82-99.
- Toews, D.R. *The Bangweulu fishery: Zambia, Central Africa*. M.Sc. thesis, University of Toronto, Institute of Environmental Studies. 1977. P.187.
- Toivonen J. The fish fauna and fisheries in Lake Saimaa // Saimaanseminaari. Joensuu yliopisto. Joensuu. 1985. P. 193-201.
- Tole M.P., Shitsama J.M. Concentrations of heavy metals in water, fish, and sediments of the Winam gulf, *Paper presented at LVEMP conference, Kisumu, Kenya*. 2001.
- The Tonle Sap Lake and her floodplains. A passage to India. The boat people. Web: <http://shirleyrodrigues.blogspot.com/2011/03/93-boat-people.html>
- Tonle Sap Biosphere Reserve. 2002. *Tonle Sap Biosphere Reserve*, Technical Coordination Unit for Tonle Sap, Ministry of Environment. Окружающей среде. Available online at Web: <http://www.mekonginfo.org>
- Tsukawaki, S., D. C. Mildenhall, B. Ben, S. Touch and M. Oda. Lithological features and radiocarbon ages of cored sediments from the northern part of Lake Tonle Sap, Cambodia. Paper pres. to Int. Symp. on Environmental Changes of the Tonle Sap. 16 Oct. 2002, Min. of Ind., Mines and Energy, Cambodia..
- Tsukawaki, S., D. C. Mildenhall, B. Ben, S. Touch and M. Oda. Lithological features and radiocarbon ages of cored sediments from the northern part of Lake Tonle Sap, Cambodia. Paper presented to Intern. Symp. on Environmental Changes of the Tonle Sap. 16 Oct. 2002, Min.of Ind., Mines and Energy, Camba.
- Tug̃rul S, Dũmlu G, Bastũrk Õ , Ilhan R, Balkas T. Van Gõlũ Õ zũmleme Kapasitesinin. Saptamasi Ve Eysel Nitelikli Atiksu. Aritimi Ve Desarji Optimizasyonu. TŨ BITAK Report, Proj. No. 0730018301, Van. 1984. P.185.
- Turner, G.F., Tweddle D., Makwinja R.D. Changes in demersal cichlid communities as a result of trawling in southern Lake Malawi. In (T.J. Pitcher & P.J.B. Hart, eds.) *The Impact of Species Changes in African Lakes*, pp. 397-412. Chapman & Hall, London. 1995.
- Turner, G.F. 2004. *Lake Malawi Habitats*. Online. Web: [http://www.hull.ac.uk/cichlids/malawi\\_habitats.htm](http://www.hull.ac.uk/cichlids/malawi_habitats.htm) (Accessed January 11, 2007).
- Tweddle, D. & Magasa J.H. Assessment of multispecies cichlid fisheries of the south-east arm of Lake Malawi, Africa. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 45. 1989. P.209-222.
- Uganda Coalition for Sustainable Development. 2007. Voicing out Lake Victoria concerns to the CHOGM and CPF. Web: <http://www.ugandacoalition.or.ug/popups/newswindow.php?id=22&print=print>.
- UNEP/DEWA. 2003. Draft Desk Study Version 1 (On Lake Chad Basin) . Report Compiled by UNEP AEO, GIWA, UNEP DEPI, Michael T. C JA Foley and Lake Chad Basin Commission. Department of Early Warning and Assessment (DEWA), UNEP: Nairobi, Kenya. UNEP Web: [www.unep.org/vitalwater/27.htm](http://www.unep.org/vitalwater/27.htm)
- UNEP, WCMC Web: [http://www.unep-wcmc.org/protected\\_areas/data/wh/lakemal.html](http://www.unep-wcmc.org/protected_areas/data/wh/lakemal.html)
- USDA United States Department of Agriculture. Web: [http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/global\\_reservoir/](http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_reservoir/)
- USGS Utah Water Science Centre. Web: <http://ut.water.usgs.gov/greatsaltlake/salinity/>
- Valdez C. Lake Titicaca at dangerously low level. The Associated Press. La Paz, Bolivia November 13, 2009 (AP). 2009.
- Vanden Bossche, J-P. and G.M. Bernacsek. Source book for the inland fishery resources of Africa: Vol. 1 - *CIFA Technical Paper No. 18/1*. FAO, Rome.1990. P.240.
- Varis O., Kummu M., Keskinen M., Sarkkula J., Koponen J., Heinonen U., Makkonen K. Tonle Sap Lake, Cambodia: Nature's affluence meets human poverty. Case Study for 2006 HDR. 2006.
- Vaux P., Wurtsbaugh W., Trevino H., Marino L., Bustamante E., Tottes J., Richerson P., Alfaro R. Ecology of pelagic fishes of Lake Titicaca, Peru-Bolivia. *Biotropica* 20 (3). 1988. P. 220-229.
- Verbeke, J. Recherches ecologiques sur la faune des grands lacs de l'Est Congo Belge. *Explor. Hydrobiol. Lacs Kivu, Edouard et Albert (1952-54)* 3. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg., Bruxelles. 1957. P.177
- Villa, J.. Sinopsis de los Peces de Nicaragua (3d Ed.). U niv. Nac. Auton. Nic., Managua (Mimeog.) 1971.
- Vinsent M.O., Wandiga S.O., Nkedi-Kizza P.N. Mitigating Phosphorus Load into Lake Victoria Catchments Report submitted to International start Secretariat August 2007. 2007.
- Visser, S.A., Villeneuve, J.P. Similarities and differences in the chemical composition of waters from West, Central and East Africa. *Verh. der Internat. Vereinigung fur Limnologie*, 19. 1975. P.1416-1425
- Voice of America News, March 28, 2008 African

- Leaders Team Up to Rescue Lake Chad.
- Vollmer M.K., Bootsma H.A., Hecky R.E., Patterson G., Halfman J.D., Edmond J.M., Eccles D.H., Weiss R.F. Deep-water warming trend in Lake Malawi, East Africa. *Limnol. Ocnogr.* 50(2). 2005. P. 727-732.
- Waddell B., Cline C., Darnall N., Sohn R., Boeke E. Contaminants Assessment affecting Selected Palustrine and Lacustrine Habitats of the Great Salt Lake, 1996-2000 GSL Wetlands & Open Waters 1996-2000, U.S. fish & wildlife service region 6. 2009. P.98.
- Wafula D.M., Yalire M., Kasereka M., Ciraba M., Kwetuenda M., Hamaguchi H. 2007. Natural disasters and hazards in the lake Kivu basin, western rift valley of Africa. Department of Geophysics, Centre de Recherche Géophysique de Kinshasa, Graduate School of Sciences, Tohoku University. Web: <http://iugg-georisk.org/presentations/pdf/Lake-Kivu-hazards.pdf>>
- Wallen D. G., Botek C. Heterogeneous paterus of primary productivity in western Lake Erie // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V. 22, part 1. 1984. P. 495-503.
- Wang J., Wang X., Chen Z. The evolution of the fluvial-lacustrine systems and protection and control of catastrophic floods along the Yangtze River. *Sediment Facies Paleogeogr.* vol. 18, 1998. P.1-9.
- Wang C. Transjurisdictional water pollution management: the Huai River example. Beijing. 2004.
- Wang, X., W. Zhang, et al. "Modeling and simulation of point-non-point source. China." *Science of the Total Environment*, 325. 2004. P. 39–50.
- Watersheds of the World: Asia and Oceania - Yenisey Watershed: Lake Baikal Subbasin [EarthTrends: The Environmental Information Portal](http://earthtrends.wri.org/text/water-resources/map-378.html) Web: <http://earthtrends.wri.org/text/water-resources/map-378.html>
- Watson N.H.F., Thomson R.P.B., Elder F.S. Sub-thermocline biomass concentration detected by transmissometer in Lake Superior // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V.19, part.1. 1975. P. 682 – 688.
- Westerkamp M., Houdret A. Peacebuilding across Lake Albert. Reinforcing environmental cooperation between Uganda and the Democratic Republic of Congo. IFP Regional Cooperation on Natural Resources, Environment and Economy Cluster. 2010. P.26
- Wetzel R.G. *Limnology*. Philadelphia-London-Toronto. W.B.Saunders C. 1975. P.743.
- Wetzel R.G. *Limnology*. 2<sup>nd</sup> Edition. Philadelphia. Saunders College Publishing. 1983. P.858.
- Weyhenmeyer G. Synchrony in relationships between the North Atlantic Oscillation and water chemistry among Sweden's largest lakes // *Limnology & Oceanography* . V. 49. N 4. 2004. P. 1191-1201.
- Weyhenmeyer G., Westoo A.-K., Willen E. Increasingly ice-free winters and their effects on water quality in Sweden's largest lakes // *Hydrobiologia*. V.599. 2008. P. 111-118.
- Widmer, C., Kittel, T., Richerson, P.J. A survey of the biological limnology of Lake Titicaca. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur Limnologie*, 19. 1975. P.1504-1510
- Wiederholm T. Long-term changes in the profundal benthos of Lake Malaren // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V.20. Part 2. 1978. P. 818-824.
- Wilander A., Persson G. Recovery from eutrophication: Experiences of reduced phosphorus input to the four largest lakes of Sweden // *AMBIO*. V. 30. N 8. 2001. P. 475-485.
- Williams A.E., Duthie H.C. Hecky R.E. Water hyacinth in Lake Victoria: why did it vanish so quickly and will it return?, *Aquat. Bot.* **81**. 2005. P. 300–314.
- Williams, W.D., Kokkinn, M.J. The biogeographical affinities of the fauna in episodically filled salt lakes: a study of Lake Eyre South, Australia. *Hydrobiol.* 158, 1988, P.227-236.
- Williams, W.D. Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview. *Hydrobiologia*, 210. 1991. P.39-66.
- Willen E. Four decades of Research on the Swedish Large Lakes Malaren, Hjalmaren, Vattern and Vanern: the significance of monitoring and remedial measures for a sustainable society // *AMBIO*. V. 30. N 8. 2001a.P. 458-466.
- Willen E. Phytoplankton and water quality characterization: Experiences from Swedish Large Lakes – Malaren, Hjalmaren, Vattern and Vanern // *AMBIO*. V.30. N 8. 2001 b. P.529-537.
- Willen T. Biological long-term investigations of Swedish lakes // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* V.19. Part 2. 1975.P.1117-1124.
- Willwock, W. "Consecuencias de la introducción de peces exóticos sobre las especies nativas del lago Titicaca." *Ecología en Bolivia* 23. 1994. P.49-56.
- Wilson J.R.U., Ajuonu O., Center T.D., Hill M.P., Julien M.H., Katagira F.F., Neuenschwander P., Njoka S.W., Ogwang J., Reeder R.H., Van T. The decline of water hyacinth on Lake Victoria was due to biological control by *Neochetina* spp. *Aquatic Botany* vol. 87, Issue 1, July 2007. P. 94-96.
- Wirmann D., Fernando de Oliveira Almeida L. Low holocene level (7700 to 3650 years ago) of Lake Titicaca (Bolivia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 59. 1987. P. 315-323.
- Wold, S.R. and Waddell, K.M. Salt budget for West Pond, Utah, April 1987 to June 1989: Denver, Colo., U.S. Geological Survey, Wate-res.Invest. Rep. 93-



4028. 1994. P.20.
- Wood, R.B., Talling, J.F. Chemical and algal relationships in a salinity series of Ethiopian inland waters. *Hydrobiologia* 158. 1988. P.29-67.
- Woodworth, G. Disappearing Lakes – What is to be Done? A Case of the Tonle Sap, Cambodia. In: Proc. of the Regional Dialogue on Biodiversity and Natural Resources Management in Mainland Southeast Asian Economies, Kunming, China, 21–24 Feb. 1995. Natural Resources and Environment Program of the Thailand Development Res. Inst., and Kunming Inst. of Botany (Chinese Acad. of Sciences) 1995. P.99–109.
- Worldatlas Web:  
<http://www.worldatlas.com/webimage/countrys/na.htm>
- World Bank. The inspection panel investigation report. Kenya: Lake Victoria Environmental Management Project (IDA Credit. 2907-KE and GEF TF 23819). 2000.
- Wu D., Zhang B., Li J., Shen Q., Zhang H., Wu Y. Dynamic monitoring the algae bloom in the Taihu Lake using modis images. Proc. of IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium. Boston, Massachusetts, U.S.A. July 6-11, 2008. 2008.
- Wuest A., Carmack E., A priory estimates of mixing and circulation in the hard-to-reach water body of Lake Vostok. *Ocean Modelling*, 2. 2000. P. 29-43.
- Wüest A., Piepke G., and Halfman J.D. Combined effects of dissolved solids and temperature on the density stratification of Lake Malawi, in T.C. Johnson and E.O. Odada (eds.), *The Limnology, Climatology and Paleoclimatology of the East African Lakes*, Gordon and Breach, Amsterdam. 1996 P.183–202.
- WWAP (World Water Assessment Programme) 2002. Map of Lake Titicaca.
- Xiao-Yan Li, He-Ye Xu, Yong-Liang Sun, Deng-Shan Zhang, Zhi-Peng Yang. Lake-level change and water balance analysis at lake qinghai, west China during recent decades. *Water resources management*, vol. 21, n9. 2007. P. 1505-1516.
- Yager, Thomas R. 2007. The mineral industry of Tanzania. Web:  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2005/tzmyb05.pdf>.
- Yiping H., Chengxin F., Yuansheng Y., Jianping B. Lake Taihu, in. b.:Jin X. Lakes in China. Research of their environment. China Ocean Press. 1995. P.94-126
- Yinxin W. Study of phytoplankton community in the channel from Dongting Lake to Changjiang River, China. *Chinese J. of Oceanology and Limnology* Vol. 24 No. 2. 2006. P.178 -185.
- Zarghami M. Effective Water Governance by Using Group Decision Support Systems; Case Study of Lake Urmia, Iran. Proc. Amsterdam Conference on the human dimensions of Global environmental change. 2-4 Dec. 2009.
- Zhang J., Xu K., Yang Y., Qi L., Hayashi S., Watanabe M. Measuring Water Storage Fluctuations in Lake Dongting, China, by Topex/Poseidon Satellite Altimetry Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 115, (1-3). 2006. P. 23-37
- Zhang Mingyu, 2009. Qinghai Lake's water level continues rising for 5 years. Web: [www.chinaview.cn](http://www.chinaview.cn)
- Zhangdong Jin, Jimin Yu, Sumin Wang, Fei Zhang, Yuewei Shi and Chen-Feng You. Seasonal chemical weathering and CO<sub>2</sub> consumption flux of Lake Qinghai river system in the northeastern Tibetan Plateau. *Environ. Earth Sci.* 2009.
- Zhisheng A., Li A., Yougui S., Colman S. M., Xiaoqiang L., 2006. Lake Qinghai Scientific Drilling Project. Progress Report. Web:  
[http://www.ccsd.org.cn/CESD/Lake%20Qinghai%20Scientific%20Drilling%20Project\\_By%20Songvg.pdf](http://www.ccsd.org.cn/CESD/Lake%20Qinghai%20Scientific%20Drilling%20Project_By%20Songvg.pdf)
- Zhisheng A., Colman S., Haug G., Molnar P., Kawai T., Xiaoqiang L. Scientific Drilling at Lake Qinghai, Northeastern Tibetan Plateau: High-resolution Paleo-environmental Archives and Global Change. 2006.
- Zhou K. Historical development and flood control function evaluation in Dongting Lake. *G. Helongjiang Hidraul Eng. College*. vol. 28. 2001. P.1-7.
- Zhou Q., Zhu Y. Potential pollution and recommended critical levels of phosphorus in paddy soils of the southern Lake Tai area, China. *Elsevier Science B.V. Geoderma* 115. 2003. P.45– 54.
- Zhu Z., Chen J., Li J., Zeng Y., Li J., Wang J., and Qi L. Synchronous variations of precipitation and temperature at Lake Qinghai, NE Tibetan Plateau during the past 800 years and their relations to solar activity: evidence from Li/Ca ratios and  $\delta^{18}\text{O}$  values of ostracod shells *Clim. Past Discuss.*, 5. 2009. P. 1493–1520,