

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов

КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА  
И ДОННЫЕ РЫБЫ  
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ



Санкт-Петербург  
2008

**Дроздов В.В., Смирнов Н.П.** Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. – Монография – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 249 с.

**ISBN 978-5-86813-217-9**

**Ответственный редактор** Л.Н. Карлин

Выполнен комплексный анализ изменчивости климатических, гидрологических и океанологических процессов и факторов среды в регионе Балтийского моря в XX веке и в начале XXI столетия. Установлены причинно-следственные связи между динамикой климата над Северной Атлантикой и гидрометеорологическими условиями в бассейне Балтики. В качестве показателя интенсивности атмосферной циркуляции использовались различные варианты индексов Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation – NAO).

Рассмотрены особенности жизненного цикла и экологии промысловых донных рыб Балтийского моря: трески (*Gadus morhua callaries L.*), речной камбалы (*Pleuronectes flesus L.*), морской камбалы (*Pleuronectes platessa L.*), камбалы-лиманды (*Limanda limanda*), а также камбалы-турбо. Особое внимание удалено начальным этапам развития, когда особи находятся в наибольшей зависимости от влияния различных экологических факторов среды.

Оценена степень и характер влияния колебаний климата, природных факторов среды и антропогенного пресса на показатели урожайности и уловы донных рыб, такие как выживаемость их икры на нерестилищах, численность молодого поколения, биомасса нерестового стада и величины уловов в южных и центральных районах Балтики.

Предназначена для специалистов в области климата, промысловой океанологии, рыбного промысла и экологии моря.

**Drozdov V.V., Smirnov N.P.** The climatic changes and bottom fishes of the Baltic Sea. – St. Petersburg, RSHU Publishers, 2008. – 249 pp.

The main biological and ecological characteristics of bottom species of fishes, such as cod (*Gadus morhua callaries L.*), flounder (*Pleuronectes flesus L.*), plaice (*Pleuronectes platessa L.*) and dab (*Limanda limanda*) in the southern and central parts of the Baltic Sea are investigated. The stock of bottom fish species in the Baltic Sea shows an abrupt decrease. This phenomenon demands explanation and prediction.

Relationships between certain processes and factors of the environment, such as various concepts of North Atlantic Oscillation (NAO), water exchange between the North and Baltic Seas, salinity, concentration of oxygen, temperature of water in bottom layers and survival of eggs, rate of growth, spawning stock biomass and catches of bottom species of fishes are determined by several multivariate methods.

The results obtained indicate that the climatic fluctuations, through the chain of oceanological and hydrological consequences, may be the main cause for the behaviour and migration of adult bottom fishes, as well as survival and growth of their eggs and larvae.

The book is intended for specialists in the fields of climate, fishery research and marine ecology.

**ISBN 978-5-86813-217-9**

© В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов, 2008

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2008

4 Российский государственный  
гидрометеорологический университет

**БИБЛИОТЕКА**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Балтийский регион – один из крупнейших в Европе районов жизнедеятельности. На его территории проживает более 140 млн. человек, расположены крупные города – миллионеры. Балтийское море играет важную роль в экономике всех прибалтийских государств и в международной экономике благодаря развитому промышленному и сельскохозяйственному производству в его бассейне, объем которого составляет около 15 % от мировой промышленной продукции. На берегах Балтики расположено более 150 портов, на это море приходится 10 % от числа всех морских мировых грузоперевозок.

С приморским положением прибалтийских государств связано формирование такой важной отрасли, как рыболовство. Общий улов рыб в 80-х годах XX в. достигал 900 тыс.т в год. К числу основных объектов промысла здесь принадлежат крупные донные рыбы, такие как балтийская треска и камбалообразные – важные промысловые породы в водах Северной Атлантики в целом. Совокупный вылов донных рыб составляет не менее 40 % от общего вылова рыбы в море. Высокие вкусовые качества промысловых рыб, близость промысла к крупным районам потребления, возможность оперативной доставки свежей рыбы для снабжения населения, и развитая сеть перерабатывающих предприятий обусловили особую экономическую заинтересованность прибалтийских стран, в том числе и России, в местном рыболовстве.

Однако биопродуктивность экосистемы Балтики подвержена значительным межгодовым и многолетним колебаниям, что находит свое отражение в том числе в изменчивости урожайности и уловов промысловых пород рыб. В связи с важностью данной проблемы для рыболовства встает вопрос о возможных причинах подобных колебаний.

Интенсивная хозяйственная деятельность на берегах Балтики не может не сказываться на экологическом состоянии отдельных районов моря. В связи с этим при анализе наблюдающихся долговременных изменений на первое место среди возможных причин часто ставится деятельность человека. Так, значительное снижение содер-

жания растворенного кислорода в глубинных и придонных горизонтах моря в начале 1990-х годов, а также в самом начале XXI в., и резкое падение на этом фоне урожайности популяций балтийской трески и камбалообразных, а также их уловов, некоторые исследователи склонны объяснить преимущественно антропогенным воздействием, связанным с эвтрофикацией и загрязнением.

Полученные в последние годы результаты исследований крупномасштабных колебаний климата и динамики биопродуктивности морей Северной Атлантики, Тихого океана и Антарктики [18, 19, 47, 48, 52, 64, 67, 80] убедительно продемонстрировали ведущий характер влияния изменчивости климата и океанологических условий на процессы воспроизводства морских организмов. Кроме того, стало ясно, что осуществление морского промысла без четкого представления о степени и характере влияния океанологических условий среды на объекты промысла может привести к истощению биоресурсов и тяжелым экономическим последствиям.

Осуществленные ранее исследования, среди которых в первую очередь выделяются работы А.Е. Антонова [5, 6], а также других авторов [11, 16, 21, 23, 25], продемонстрировали в общих чертах, что главные крупномасштабные изменения основных звеньев экосистемы Балтийского моря также определяются в основном колебаниями климата и связанными с ними океанологическими условиями и гидрохимическими характеристиками. Тем не менее комплексные и обстоятельные ответы на вопросы о степени и характере влияния крупномасштабных климатических колебаний над Северной Атлантикой на климатические и океанологические условия в регионе Балтийского моря получены не были. Остаётся нерешенным до конца вопрос о влиянии климатических и связанных с ними океанологических изменений на урожайность и уловы промысловых видов донных балтийских рыб на фоне антропогенного воздействия.

Данное исследование посвящено изучению и анализу многолетних климатических колебаний и связанной с ними изменчивости океанологических условий в регионе Северной Атлантики и Балтийского моря в связи с динамикой урожайности и уловов донных рыб за последние 50–100 лет. Концепция настоящей работы во многом согласуется с положениями известного русского ихтиолога Г.К. Ижевского, труды которого внесли значительный вклад в формирование и развитие отечественной промысловой океанологии.

Согласно Г.К. Ижевскому, явления в биологической оболочке нашей планеты, и в частности в Северо-Атлантическом регионе, находятся в тесной связи с крупномасштабными процессами в атмосфере и океане Земли [35, 36]. Целью работы является установление степени и характера влияния изменяющегося климата и океанологических условий на процессы воспроизводства поколений балтийской трески и массовых камбалообразных рыб. В предлагаемой монографии выделяются и анализируются океанологические процессы и конкретные экологические факторы среды, оказывающие существенное и определяющее влияние на многолетнюю динамику показателей воспроизводства донных балтийских рыб. На основе выявленных закономерностей устанавливается степень и характер влияния естественных и антропогенных причин на динамику урожайности и уловов донных рыб Балтики.

Осуществлена разработка математической и логической моделей, отражающих зависимости между климатом, океанологическими условиями и показателями урожайности донных рыб с учётом совместного влияния совокупности действующих причин. Впервые установлены неизвестные ранее особенности воздействия факторов среды на численность молодых поколений донных балтийских рыб. Предложены рекомендации по устойчивой промысловый эксплуатации донных рыб с учетом установленных особенностей влияния колебаний климата. Показано, что несмотря на значительный объем антропогенного влияния, приходящегося на Балтику, которая является внутренним морем Европы и окружена странами с развитыми отраслями промышленности и сельского хозяйства, главные черты динамики структуры и продуктивности экосистемы моря находятся в зависимости прежде всего от естественных природных причин.

В 1974 г. всеми странами региона Балтийского моря была принята Конвенция по защите морской среды Балтики. Руководящим органом данной Конвенции является Хельсинская комиссия (HELCOM). Сохраняя свой независимый международный статус, HELCOM играет ключевую роль в разработке, совместно с другими природоохранными структурами региона, планов действий по рациональному природопользованию, учитывая экономические, социальные, рекреационные и культурные потребности населения. В основе принятия решений лежат регулярно проводимые комплекс-

ные оценки воздействий на морскую абиотическую среду и пищевые цепи моря. С 1990 г. HELCOM организует деятельность по комплексному управлению прибрежными зонами во всем регионе Балтийского моря. Положения и цели Морской стратегии Европейского союза также подверглись анализу со стороны Хельсинской комиссии применительно к балтийскому региону. Среди этих целей – внедрение экосистемного подхода и мер по снижению видового разнообразия к 2010 г., предотвращение тенденции сокращения рыбных ресурсов.

Как член Хельсинской комиссии, Россия участвует в разработке и реализации природоохранных планов на Балтике, тем более что большинство из них соответствует Морской доктрине РФ. Мы надеемся, что наше исследование будет способствовать выработке научно обоснованных рекомендаций по охране и устойчивой эксплуатации биологических ресурсов Балтийского моря.

# **Глава 1.**

## **КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

В данной работе в качестве основного показателя климатических колебаний в регионе Балтийского моря используется интенсивность атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой в целом. Очевидно, что в определенной зависимости от климата должна находится и соответствующая изменчивость океанологических условий и конкретных факторов среды, способных оказывать влияние на воспроизводство промысловых рыб.

### **1.1. Атмосферная циркуляция**

Погода и климат Северной Атлантики и прилегающих к ней районов Северной Америки и Евразии в значительной мере зависят от атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которая представлена системами низкого и высокого давления (рис 1.1).

Центральная часть циклонической системы низкого давления расположена к юго-западу от о. Исландия, и по этой причине она получила название Исландской депрессии, или Исландского минимума давления (ИМД). Южнее, в районе Азорских островов, находится центр антициклонической системы высокого давления, получивший название Азорского максимума давления (АзМД). Указанные системы называют центрами действия атмосферы. Благодаря им в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется перенос воздушных масс с запада на восток. Интенсивность переноса подвержена значительным колебаниям во времени вследствие того, что параметры центров действия, т.е. их положение в пространстве и выраженность, варьируют. За меру интенсивности западного переноса принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных около климатических центров действия. Эту разность давления, определяемую, как правило, в среднем за зимние месяцы, называют Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation – NAO). Индекс атмосферной циркуляции NAO широко используется в мировой практике изучения колебаний климата и их причин. Во «Всемирной программе

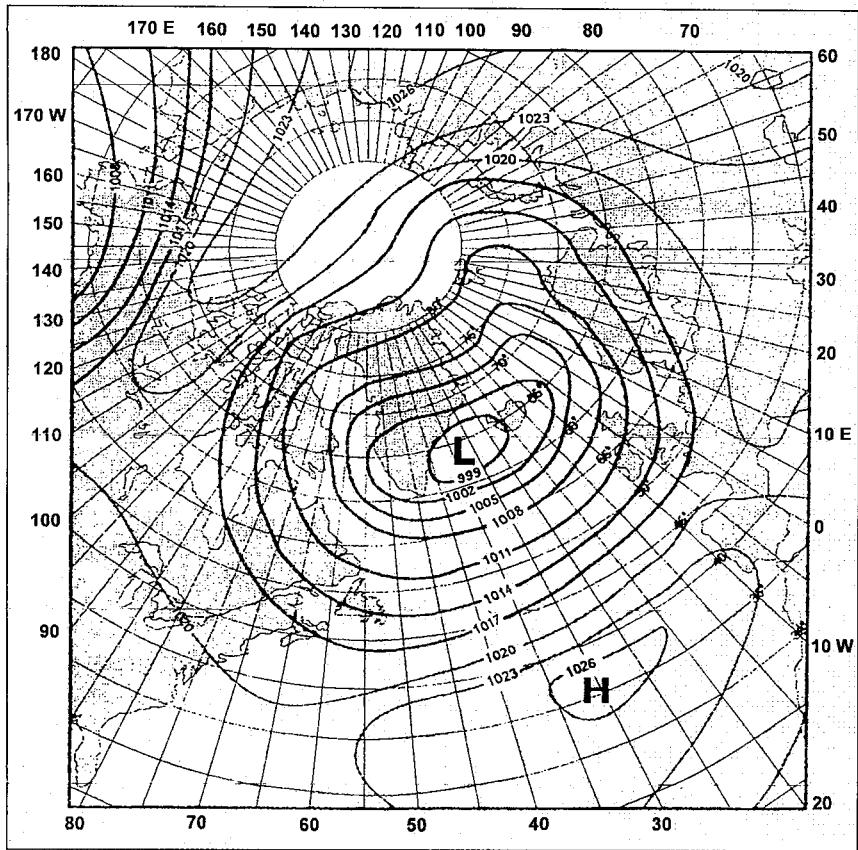


Рис. 1.1. Схема распределения приземного давления над Севером Атлантикой в зимний период.

исследований климата» существует подпрограмма «Изучение изменчивости и предсказуемости климата» (CLIVAR). Среди пяти направлений программы CLIVAR одним из ведущих является изучение Северо-Атлантического колебания, которое способно во многом определять особенности динамики температуры воздуха и других климатических характеристик на весьма обширной территории между Северо-Востоком Евразии и Восточной Канадой, а также между южными и юго-восточными областями Европы, вплоть до бассейна Азовского моря, и восточным побережьем США. Среди других подходов к оценке атмосферной циркуляции

индекс NAO имеет некоторые преимущества, что и является причиной его широкого признания и использования в международных исследованиях. В частности, широко известная типизация Г.Я. Вангенгейма – А.А.Гирса основана на понятии элементарного синоптического процесса, в течение которого сохраняются основные направления воздушных течений и где учитывается количество дней с зональной (W), восточной (E) и меридиональной (C) формами циркуляции. При этом в процессе анализа синоптических карт иногда могут возникать затруднения в установлении преобладающего движения воздушных потоков в течение суток, что вносит некоторую субъективность в определение формы циркуляции.

Расчёт же индекса NAO происходит по разности конкретных значений давления воздуха на постах наблюдений, что позволяет оценить интенсивность атмосферной циркуляции, темп ее изменчивости во времени, тогда как типизация Г.Я. Вангенгейма – А.А.Гирса позволяет судить скорее о качественных характеристиках процесса циркуляции атмосферы и дает мало информации о его интенсивности. Кроме того, индекс NAO рассчитывается по разности давлений воздуха на уровне моря, что позволяет иметь более точное представление о специфике происходящих метеорологических процессов в непосредственной близости от расположения морских и наземных экосистем. Формы же циркуляции атмосферы Г.Я. Вангенгейма – А.А.Гирса определяются на геопотенциале AT 500 мВ, расположенном на значительном расстоянии от поверхности земли.

Существуют различные варианты индекса NAO. Наиболее часто используется разность давления между Азорскими островами (Понта-Делгада) и Исландией (Акурейри), осредненная за три зимних месяца (декабрь–февраль) – индекс NAO<sub>1</sub>. Представляют его непосредственно в единицах давления (гПа) или в виде отклонения от среднего в долях дисперсии [47]. Несколько реже используют разности давления между пунктами Лиссабон (Португалия) и Стокхольмюор (Исландия), осреднённые за четыре зимних месяца (декабрь – март) – NAO<sub>2</sub> [54,55]. Кроме того, для характеристики Северо – Атлантического колебания применяют непосредственную разность давлений между центрами действия атмосферы – NAO<sub>3</sub>, а также разности давления на меридиане, между точками с координатами 45° с.ш., 30° з.д. и 60° с.ш., 30° з.д., осреднённые за три зимних месяца (декабрь – февраль) – NAO<sub>4</sub>. Подробно все эти индексы бы-

ли проанализированы в работе [54]. Было показано, что самым предпочтительным индексом NAO является индекс, который представляет собой первую главную компоненту разложения на естественные ортогональные функции всех четырёх указанных выше индексов. Он наилучшим образом отражает колебания поля давления над Северной Атлантикой, динамику параметров центров действия атмосферы и переносы воздушных масс. Этот индекс обозначен авторами как  $NAO_{ob}$ . (рис. 1.2). Вклады индексов в первую главную компоненту близки между собой, но наибольший вклад имеет индекс  $NAO_4$ . При сопоставлении значений индексов NAO между собой за период более 100 лет обнаруживается, что основные черты межгодовой изменчивости у них едины (табл. 1.1). Величины коэффициентов корреляции изменений  $NAO_{ob}$  и каждого индекса в отдельности показывают, что  $NAO_{ob}$  способен весьма полно и объективно отражать их динамику (табл. 1.2). Наиболее высокий коэффициент корреляции ( $r$ ) наблюдается между значениями  $NAO_{ob}$  и  $NAO_4$  ( $r = 0,95$  при уровне обеспеченности  $P = 99\%$ ).

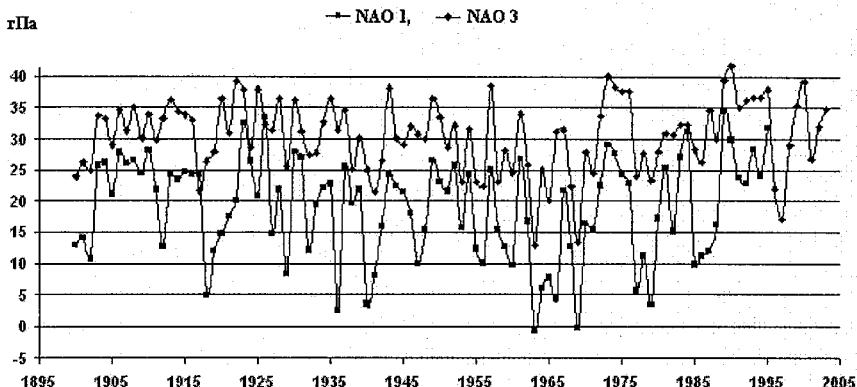


Рис. 1.2 Многолетняя динамика значений различных вариантов индекса Северо-Атлантического колебания.

В целом из рис. 1.2 следует, что самой главной особенностью изменчивости интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой за рассматриваемый период является её исключительное ослабление в 1960-е годы., что находит свое подтверждение в характере колебаний значений всех индексов. В это время резко

снизился западный зональный перенос в умеренных широтах, был сильно ослаблен перенос теплых воздушных масс к северу над северо-востоком Северной Атлантики и холодных воздушных масс в южном направлении над северо-западом. В дальнейшем, во второй половине 1980-х годов, наблюдалось резкое возрастание интенсивности зональной циркуляции, которое никогда ранее за последние два столетия не проявлялось в столь значительных масштабах. Именно за последние 50 лет в циркуляции атмосферы над регионом Северной Атлантики произошли изменения, которые по своей величине превзошли все те, что имели место в предшествующие 100 – 140 лет. Только 20-е годы XX в., известные как период потепления Арктики, по интенсивности атмосферной циркуляции приближались к уровню, наблюдавшемуся в конце 1980-х годов.

*Таблица 1.1*

**Корреляционная матрица между динамикой значений различных вариантов индекса NAO ( $r_{99\%} = \pm 0,25$ )**

NAO <sub>1</sub>	NAO <sub>2</sub>	NAO <sub>3</sub>	NAO <sub>4</sub>	Индекс
1.00	0.72	0.72	0.84	NAO <sub>1</sub>
	1.00	0.76	0.83	NAO <sub>2</sub>
		1.00	0.81	NAO <sub>3</sub>
			1.00	NAO <sub>4</sub>

*Таблица 1.2*

**Значения коэффициентов корреляции между значениями обобщённого индекса NAO об. и других индексов, представляющих Северо-Атлантическое колебание**

Индекс	<i>r</i>
NAO <sub>1</sub>	0,91
NAO <sub>2</sub>	0,91
NAO <sub>3</sub>	0,90
NAO <sub>4</sub>	0,94

В табл. 1.3 представлены значения индексов NAO<sub>3</sub> и NAO<sub>об.</sub> со второй половины 1990-х по начало 2000-х годов. Видно, что за рассматриваемый период значения индекса NAO<sub>об.</sub> были меньше тех, которые наблюдались в 1989 и 1990 гг. (3,9 и 3,1 соответственно, при среднем значении за период с 1895 по 2005 г., равном -0,022). Значения индекса NAO<sub>3</sub> также уступают тому показателю, который был достигнут в 1990 г. (41,8 гПа, при среднем значении за период с 1895 по 2003 г., равном 30,46 гПа). Кроме того, в 1996 и 2005 гг.

наблюдалось весьма значительное снижение интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой. Существенно выше средней многолетней нормы, значения индексов атмосферной циркуляции были в 1995, в 1999 – 2000 гг., а также в 2003 г.

Таблица 1.3  
Значения индексов циркуляции атмосферы  $NAO_3$  и  $NAO_{об.}$   
в период с 1995 по 2003 г.

Варианты индексов NAO	Годы										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$NAO_3$ , гПа	38,0	22,0	27,0	29,0	35,3	39,3	26,7	32,0	34,9	–	–
$NAO_{об.}$ , гПа	1,9	-2,5	-1,1	-0,6	1,2	2,3	-1,2	0,3	1,1	0,79	-2,66

На фоне долгопериодных колебаний интенсивности атмосферной циркуляции даже визуально (см. рис. 1.2.) заметны также её вариации с периодом около 20 лет. Спектральный же анализ изменчивости индекса NAO показал, что наиболее заметным на спектре является максимум на периоде 7,8 года [54]. Наконец, следует отметить, что какого-либо значимого тренда в интенсивности циркуляции атмосферы над регионом Северной Атлантики не обнаружено.

## 1.2. Температура воздуха

Температура воздуха принадлежит к числу важнейших параметров климатических изменений, оказывающих непосредственное воздействие на жизнь организмов.

В связи с этим рассмотрим главные черты многолетней изменчивости температуры воздуха на западном и восточном побережьях Балтийского моря, так как от температуры воздуха должна находиться в определённой зависимости и температура воды в поверхностных и промежуточных горизонтах моря.

Исходя из основной цели данного исследования, из всей совокупности береговых станций с многолетними рядами наблюдений, выберем те из них, которые расположены в наибольшей близости к нерестилищам и районам нагула донных рыб. В юго-западной Балтике представляется обоснованным использовать данные, полученные на ст. Кобенхавн (Kobenhavn – 55°41' с.ш., 12°36' в.д.) расположенной на территории Дании, в зоне проливов, в относительной близости от нерестилищ западно-балтийских популяций донных

рыб – Арконской и Борнхольмской впадин. В центральной части западного побережья, представляется правомерным использовать данные, полученные в столице Швеции Стокгольме (Stockholm – 59°20' с.ш., 18°03' в.д.), так как данный город располагается вблизи западных районов нагула восточно-балтийской популяции трески и камбалообразных рыб. Целесообразно также проанализировать данные наблюдений за температурой воздуха полученные на о. Готланд в городе Висбю (Visby – 57°40' с.ш., 18°20' в.д.) по причине его расположения непосредственно около крупнейшего нерестилища донных рыб в Балтийском море – Готландской впадины. На восточном побережье рассмотрим изменчивость температуры воздуха в городах Балтийск (Россия), который расположен вблизи нерестилища в Гданьской впадине, Лиепая (Латвия), который находится у восточных границ Готландского нерестилища, а также Хельсинки (Helsinki – 60°10' с.ш., 24°57' в.д.), данные по которому отражают термические условия в северно-восточных районах Балтики и в западной части Финского залива. Многолетние данные наблюдений на указанных пунктах представлены на рисунках 1.3 и 1.4. Информация по температуре воздуха на станциях Дании, Швеции и Финляндии заимствована из базы данных Nord climate dataset [102], на станциях Балтийск и Лиепая из книги "Моря СССР" [54].

Как видно из рис. 1.3, для многолетней динамики температуры воздуха на западном побережье Балтийского моря и на о. Готланд свойственны во многом сходные черты. В Стокгольме, Висбю и Копенгагене для периода первого десятилетия XX в. были характерны годовые значения температур воздуха на уровне или ниже средней многолетней нормы, рассчитанной за период с 1900 по 2002 г. (6,71, 6,86, и 8,45 °C соответственно). Наиболее холодным был 1902 г. Существенное похолодание затронуло Данию, в Копенгагене в 1902 г. было отмечено одно из наиболее низких значений средней годовой температуры воздуха за весь рассматриваемый период, равное 6,6 °C. В период с 1910 по 1929 г. были зарегистрированы температуры, существенно превышающие норму, что говорит о наступлении этапа некоторого потепления. В Стокгольме наиболее теплыми были 1914, 1920 гг. (7,7 и 7,3 °C соответственно), в Висбю – 1914 и 1921 гг. (8,0 и 7,7 °C соответственно), в Копенгагене максимумы также наблюдались в 1914 и 1921 гг. (9,0 и 8,84 °C соответственно).

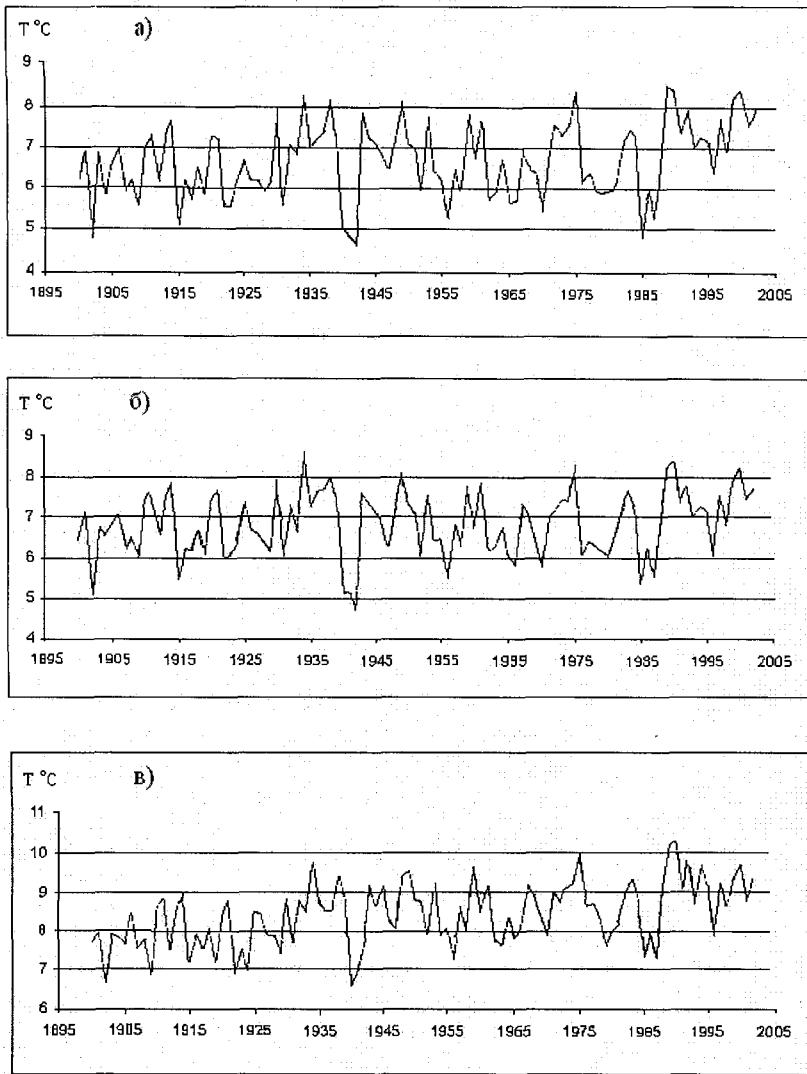


Рисунок 1.3. Многолетняя динамика значений средней годовой температуры воздуха на западном побережье Балтийского моря и на о. Готланд.  
а – Стокгольм; б – Висбю (о. Готланд); в – Копенхавн

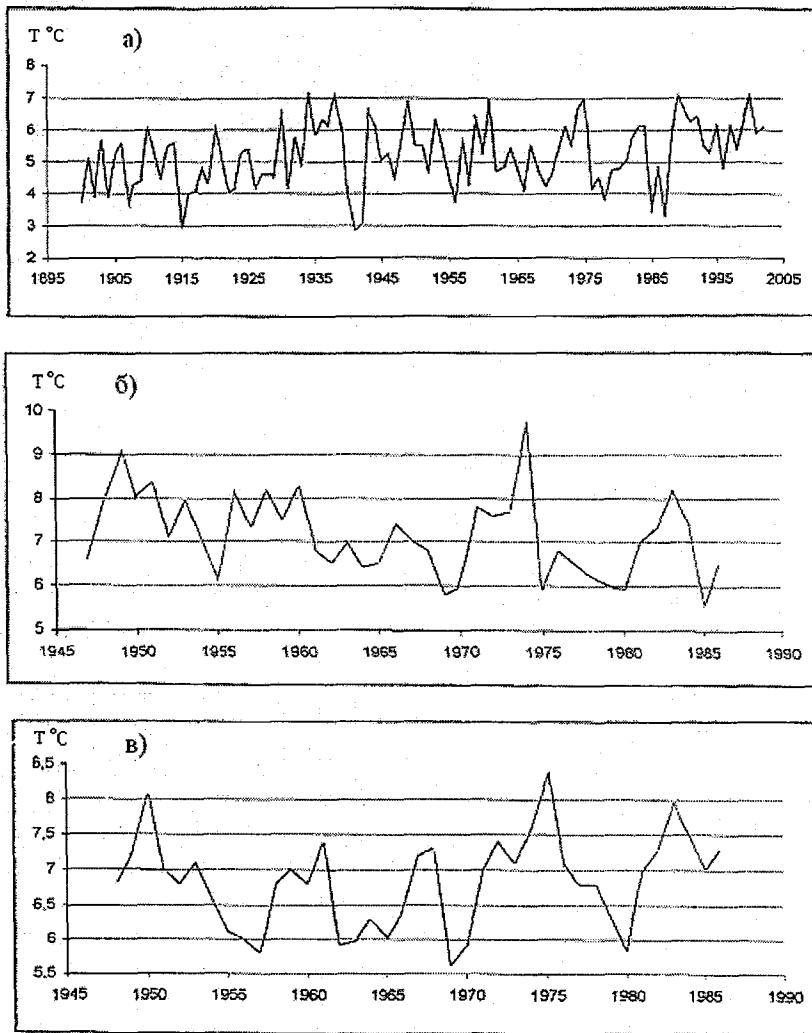


Рис. 1.4. Многолетняя динамика значений средней годовой температуры воздуха на восточном побережье Балтийского моря.  
а – Хельсинки; б – Лиепая; в – Балтийск.

В дальнейшем, в период с 1930 по 1939 г., а также, в несколько меньшей степени, с 1943 по 1953 г., наблюдалось значительное потепление, сопровождавшееся регистрацией средних годовых значе-

ний температур воздуха на западном побережье, которые от 18 до 21 % превышали среднюю многолетнюю норму. На всех трех рассматриваемых пунктах наблюдений максимумы температуры наблюдались в 1934 и 1938 гг. (Стокгольм – 8,3 и 8,2 °C, Висбю – 8,6 и 8,1 °C, Кобенхавн – 9,9 и 9,5 °C соответственно). Период с 1940 по 1943 г., как хорошо видно из рисунка 3.3, можно считать этапом экстремального и достаточно внезапного похолодания. Именно в это время наблюдалось снижение температуры воздуха до самых минимальных значений за последние 100 лет. В Стокгольме и Висбю в 1942 г. средняя годовая температура понизилась до 4,6 °C, что соответственно на 31,5 и 33 % ниже нормы и в 1,7 меньше значений, свойственных для 1938 г. В Южной Балтике, в Кобенхавне резкое похолодание наступило ранее, в 1940 г., и было выражено слабее – здесь температура понизилась только на 21,5 % от нормы.

С 1954 по 1958 г. проявилось незначительное понижение средних годовых температур. В Стокгольме, на о. Готланд и в Дании минимум за этот период наблюдался в 1956 г. (5,2, 5,5 и 7,3 °C соответственно). В 1959 и 1961 гг. на всех станциях западного побережья наблюдалось некоторое возрастание температур, однако в последующее десятилетие значения температур воздуха колебались около средних многолетних величин.

Для периода с 1972 по 1975 г. было характерно новое возрастание значений температур воздуха, значительно превышающих норму. Максимум для данного интервала времени отчетливо наблюдался на всех трёх станциях в 1975 г. (Стокгольм – 8,4 °C, Висбю – 8,35 °C, Кобенхавн – 9,94 °C), однако в наибольшей степени он был характерен для Стокгольма, где было зарегистрировано значение температуры, на 25 % превышающее норму.

С 1976 по 1981 г. наблюдался период умеренного похолодания, особенностью которого являлось то, что на протяжении всех 6 лет температуры воздуха в Стокгольме и Висбю были ниже средних многолетних значений. Последовавший за этим непродолжительный период потепления с 1982 по 1984 г. характеризовался незначительным ростом значений температур воздуха – от 10 до 12 % от нормы. Однако уже в 1985 г. последовало резкое снижение температур в Стокгольме, а также в Висбю, до одних из самых низких значений за весь рассматриваемый период (4,75 °C, 29,2 % ниже нормы, 5,3 °C, 22,7% ниже нормы соответственно). В Кобенхавне,

минимум температуры воздуха был зарегистрирован позднее – в 1987 г. и проявился не столь заметно ( $7,34^{\circ}\text{C}$ , 13 % ниже нормы).

В 1988 г. начался новый этап потепления, который сопровождался значительным ростом температуры до одних из самых высоких значений за весь период с 1900 г. Рост температур воздуха был наиболее значительным в Стокгольме, где в 1989 г. среднегодовая температура достигла абсолютного максимума и превысила норму на 26 %. В Кобенхавне температура воздуха также достигла экстремальных, не наблюдавшихся ранее значений, которые превосходили норму на 22 %, однако данный максимум пришелся на 1990 г. На о. Готланд в 1990 г. также наблюдалось значительное возрастание средней годовой температуры воздуха до  $8,4^{\circ}\text{C}$ , однако данное значение ниже абсолютного максимума, зарегистрированного здесь в 1934 г. ( $8,6^{\circ}\text{C}$ ).

К середине 1990-х годов температура воздуха на западном побережье Балтики немного снизилась до значений на 5 – 6 % ниже нормы, однако затем вновь возникла тенденция к росту и к началу XXI в. в Стокгольме и Висбю средняя годовая температура превышала норму на 23 и 20 % соответственно. В Южной Балтике, в Кобенхавне, тенденция к возрастанию температуры была выражена слабее.

В целом на всех станциях западного побережья проявляется единый характер изменчивости средней годовой температуры воздуха, выражющийся в одновременном наступлении периодов относительного похолодания и потепления, что подтверждается наличием тесной корреляционной связи между рассмотренными рядами данных. Так, между данными по Стокгольму и Висбю  $r = 0,893$ , между Стокгольмом и Кобенхавном  $r = 0,841$ , между Висбю и Кобенхавном  $r = 0,872$ . Все коэффициенты корреляции значимы при 99,9 % уровне обеспеченности. Наиболее заметные похолодания наблюдались в самом начале XX в., в начале 1940-х годов., а также в середине 1980-х годов. Выраженные потепления были свойственны периоду с 1910 по 1914 г., середине 1930-х годов., второй половине 1940-х годов., середине 1970-х годов., периоду 1988 – 1992 гг., а также началу XXI в. Заметно, что максимальная амплитуда колебаний свойственна для данных, полученных в Стокгольме, а минимальная – в Кобенхавне. Статистические параметры рядов подтверждают данное наблюдение – именно для ряда данных по Сток-

гольму свойственна максимальная дисперсия  $D$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  ( $D = 0,951$ ,  $\sigma = 0,975$ ), тогда как для ряда по Кобенхавну значения этих параметров минимальны ( $D = 0,7045$ ,  $\sigma = 0,841$ ). Данная особенность может быть объяснена региональными климатическими различиями – климат Стокгольма близок к умеренному континентальному, а климат Дании – к морскому.

На рис. 1.4 представлена многолетняя динамика значений средней годовой температуры на станциях наблюдений расположенных вдоль восточного побережья Балтийского моря. Как видно из рис. 1.4, особенности колебаний температуры воздуха в Хельсинки демонстрируют весьма значительное сходство с динамикой температур в Висбю ( $r = 0,9051$  при  $P = 99,9\%$ ) и Стокгольме ( $r = 0,872$  при  $P = 99,9\%$ ). Между рядами данных по Хельсинки и Кобенхавну связь менее тесная, но тем не менее, остается высокой ( $r = 0,813$  при  $P = 99,9\%$ ). Однако отличительной чертой данных по температуре полученных в Хельсинки, является значительно большее значение дисперсии и  $\sigma$  ( $D = 1,088$ ,  $\sigma = 1,043$ ) чем на станциях западного побережья, что свидетельствует о возрастании степени континентальности климата.

Температура воздуха в Лиепае также демонстрирует значительные межгодовые колебания. За рассматриваемый период наблюдалось три периода значительного возрастания температуры. Во-первых, это период с 1948 по 1951 г. с максимумом в 1949 г. ( $9,1^{\circ}\text{C}$ , превышение среднего многолетнего значения на  $27\%$ ), во-вторых, период с 1971 по 1974 г. с абсолютным максимумом в 1974 г. ( $10^{\circ}\text{C}$ , превышение нормы на  $39,5\%$ , в-третьих период с 1982 по 1984 гг. с наибольшим значением в 1983 г. ( $8,2^{\circ}\text{C}$ , превышение нормы на  $14,4\%$ ). Минимумы наблюдались в 1955, 1969, 1975 и 1985 гг. ( $6,1; 5,8; 5,9$ ; и  $5,5^{\circ}\text{C}$  соответственно). Абсолютный минимум 1985 г. сопровождался снижением средней годовой температуры воздуха на  $23,3\%$  от нормы.

Данные по температуре в Лиепае характеризуются значительной дисперсией и средним квадратическим отклонением, значения которых ( $D = 0,957$ ,  $\sigma = 0,978$ ) практически аналогичны величинам, которые свойственны для данным по Стокгольму. Но, теснота связи между этими рядами данных минимальна ( $r = 0,305$  при  $P = 95\%$ ). Значительно более тесная связь наблюдается с динамикой температур в Хельсинки и в Висбю ( $r = 0,443$  и  $r = 0,433$  при  $P = 99\%$  соответственно).

В Балтийске динамика средних годовых температур воздуха демонстрирует наименьшую дисперсию ( $D = 0,472$ ,  $\sigma = 0,687$ ). Столь незначительная дисперсия данных по сравнению с другими рассмотренными рядами может в какой-то мере объясняться географическим положением города, который расположен на Вислинской косе, между Калининградским заливом на юге и собственно Балтийским морем на севере. Возможно предположить, что близость значительных водных масс оказывает смягчающее воздействие на климат данного района. Наблюдается запаздывание наступления максимумов температур по сравнению с данными по ст. Лиепая. Так, в 1950 г. температура в Балтийске достигла  $8,1^{\circ}\text{C}$ , что превышает норму на  $18,7\%$ , тогда как в Лиепае соответствующий пик наблюдался в 1949 г. Следующий максимум средней годовой температуры воздуха в Балтийске за рассматриваемый период наблюдался в 1975 г. ( $8,4^{\circ}\text{C}$ , превышение нормы на  $23\%$ ), а в Лиепае очередной пик температуры наблюдался на 1 год раньше. Однако минимальные температуры в Балтийске и Лиепае регистрируются в большинстве случаев одновременно, за исключением периода 1955 – 1957 гг., когда минимум в Лиепае проявился на 2 года раньше, чем в Балтийске. Абсолютный минимум температуры в Балтийске за рассматриваемый период был зарегистрирован в 1969 г. ( $5,6^{\circ}\text{C}$ , ниже нормы на  $18\%$ ). Несмотря на определённые различия в особенностях динамики температур воздуха, между рядами данных по станциям Балтийску и Лиепаей наблюдается наличие значимой корреляционной связи ( $r = 0,393$  при  $P = 95\%$ ).

Между температурой воздуха в Балтийске и пунктами наблюдений, расположенными на западном побережье моря, характерно наличие более тесной корреляционной связи, чем для станций восточного побережья. Коэффициент корреляции между значениями температуры в Балтийске и Хельсинки  $r = 0,577$ , тогда как степень тесноты связи с динамикой температур в Висбю и Копенхагене  $r = 0,708$  и  $r = 0,712$  при  $P = 99\%$  соответственно.

Таким образом, несмотря на определенные региональные различия, в целом для большинства прибрежных районов Балтийского моря свойственны общие закономерности в многолетней изменчивости средних годовых температур воздуха. Периоды наиболее выраженного потепления были свойственны для середины 1930-х и конца 1940-х годов., для первой половины 1970-х годов., а также

для начала 1990-х годов. Выраженные похолодания отмечались в самом начале XX в., в 1915 г., в период с 1940 по 1942 г., в конце 1970-х годов и в период с 1985 по 1987 г.

### **1.3. Температура воды и ледовые условия**

Температура является важнейшим абиотическим экологическим фактором, от изменчивости количественных характеристик которого во многом зависит интенсивность и направление биологических процессов в любой экосистеме. Температура воды принадлежит также к числу основных океанологических характеристик, определяющих ход гидрологических и гидробиологических процессов. Так, температура на поверхности моря в значительной степени определяет темпы фотосинтеза и его продолжительность, от температуры во многом зависит процесс воспроизводства и роста большинства видов рыб.

Хорошо известно, что изменения температуры воды, в особенности на поверхности моря, находятся в тесной зависимости от колебаний температуры воздуха. Следовательно, температура воды, наравне с ледовитостью, является хорошим индикатором колебаний климата. Рассмотрим термические условия Балтийского моря, уделив преимущественное внимание особенностям глубинного и придонного слоёв, в которых осуществляется нерест и проходят начальные этапы развития личинок балтийских донных рыб.

Для большинства районов Балтийского моря, исходя из характерных термических условий, можно выделить поверхностные и глубинные (придонные) водные массы, а также промежуточный слой.

Температура на поверхности моря в южных и центральных районах в годовом ходе достигает минимума в период с последней декады февраля по март. Весенний прогрев верхнего слоя происходит постепенно, достигая максимума в конце мая – начале июня. На основе многолетних данных установлено, что в этот период температура воды возрастает в среднем за декаду на 1,6 – 1,8 °C в южной части моря, на 2,2 – 2,4 °C в центральной части и на 2,8 – 3,0 °C – в северной. Наибольшие значения температуры воды для всех районов открытой части Балтийского моря наблюдаются в период первых двух декад августа. Осеннее выхолаживание в северных рай-

онах происходит интенсивнее, чем в южных и составляет соответственно 1,8 и 1,2 °С за декаду [5,52]. Годовой ход температуры прослеживается до глубин более 50 м, однако уже на глубине 15 – 20 м в северных и центральных районах моря и глубже 20 м в южной части моря, происходит трансформация рассмотренных сезонных колебаний: уменьшается амплитуда годового хода за счёт снижения максимальных значений и возрастания минимальных, сдвигается на более поздний срок наступление периода максимальных значений температуры воды.

Ниже зоны интенсивного прогрева поверхностных вод, на глубинах примерно от 40 до 80 м, располагается холодный промежуточный слой, наблюдающийся в теплую часть года. Его образование связано с зимним охлаждением водных масс. В целом процесс формирования холодных промежуточных вод зависит от ряда причин: абсолютных значений температуры воды на поверхности моря в зимний период, температуры в зоне расположения зимнего термоклина в конце гидрологической зимы, от глубины конвективного перемешивания в весенний период, от степени ветрового перемешивания и от прогрева в весенне-летний сезон. Кроме того, в Южной Балтике на параметры холодного промежуточного слоя существенное влияние оказывают поступления относительно тёплых североморских вод [34].

Максимальные значения температуры промежуточного слоя наблюдаются в районе Борнхольмской впадины. Для этого района характерна наибольшая амплитуда между экстремальными значениями температуры. Здесь в максимальной степени сказывается отепляющее воздействие североморских вод, периодически поступающих в Балтийское море. Минимальные значения температуры промежуточного слоя свойственны для южной части Готландской впадины. В данном районе наблюдается наибольшее охлаждение водных масс в осенне-зимний период, что влечёт за собой формирование наиболее мощного слоя холодных промежуточных вод, по сравнению с другими глубоководными районами моря. Этому же району свойственна и наименьшая амплитуда колебаний температуры воды [54].

Наиболее продолжительное существование холодного промежуточного слоя в Балтийском море прослеживается, как правило, после суровых зим и при мало интенсивном ветровом перемешива-

нии вод в весенне-летний период. В западных районах слой холодных вод разрушается быстрее, чем на востоке и севере моря [34].

Температурный режим придонных горизонтов глубоководных впадин Балтийского моря зависит в основном от двух факторов: распространения тепла от поверхности моря и адвекции достаточно теплых североморских вод. Определяющим фактором в большинстве случаев является адвективный перенос тепла. Однако серия сурьных зим способна оказать влияние на температуру не только поверхностного и промежуточного слоев, но и на термику придонных горизонтов моря, в особенности в районах Гданьской и Готландской впадин [5].

На рис. 1.5 показана многолетняя изменчивость температуры воды в придонном горизонте Борнхольмской, Гданьской и Готландской впадин в среднем за год. Именно эти впадины являются основными нерестилищами для большинства донных рыб Балтийского моря. Данные по температуре воды за период с 1963 по 1980 г. взяты из монографии А.Е. Антонова [5], с 1980 по 2000 г. – из статьи А.С. Зезера [33], с 2001 по 2006 г. – из данных представленных на сайте HELCOM [104].

Средняя годовая температура воды в Борнхольмской впадине, как видно из рисунка 1.5 а), демонстрирует выраженные межгодовые колебания. Минимальные значения температуры за рассматриваемый период наблюдались в 1964 ( $4,7^{\circ}\text{C}$ ), 1980 ( $4,9^{\circ}\text{C}$ ), а также в 1993 и в 1994 гг. когда были достигнуты наиболее минимальные значения ( $4,4$  и  $4,1^{\circ}\text{C}$  соответственно). Выделяются два отчетливых этапа наиболее высоких значений температуры воды. Первый был характерен для периода с 1976 по 1978 г., второй наблюдался с 1998 по 2000 г. Абсолютный максимум был достигнут в 2000 г. ( $9,0^{\circ}\text{C}$ ). В целом, в период с 1963 по 1978 г. наблюдалась тенденция к возрастанию значений температур, которая затем сменилась тенденцией к их снижению. После абсолютного минимума достигнутого в 1994 г. возникла новая, более отчетливая тенденция к быстрому росту температуры в придонном горизонте. Дисперсия всего рассматриваемого ряда составляет  $D = 1,357$ ,  $\sigma = 1,165$ , среднее значение  $x = 6,36^{\circ}\text{C}$ .

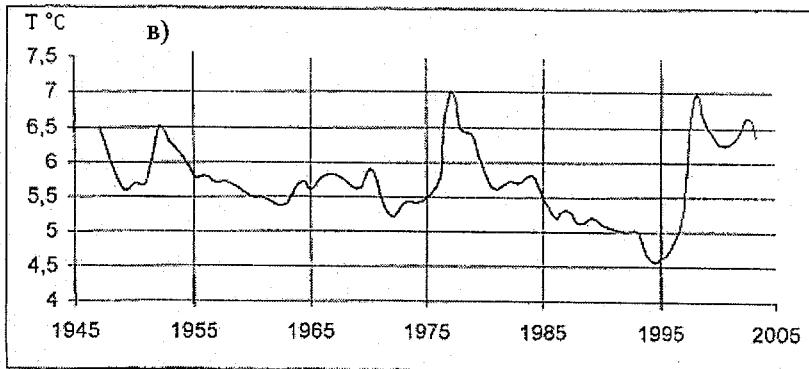
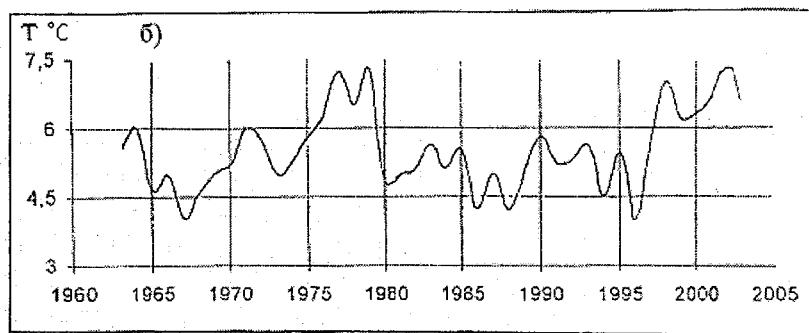
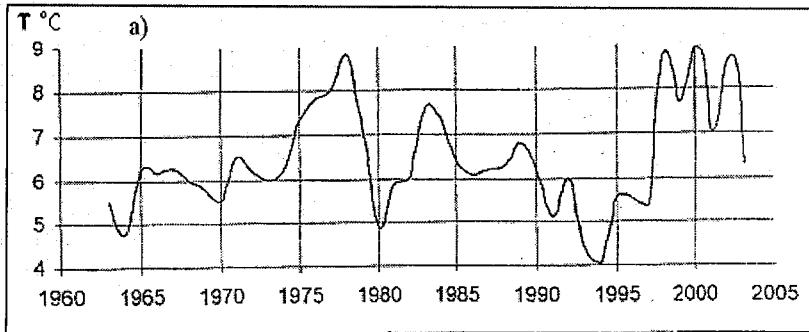


Рисунок 1.5 – Многолетняя динамика значений температуры воды в придонном горизонте глубоководных впадин Балтийского моря  
а: Борнхольмская впадина; б: Гданьская впадина; в: Готландская впадина

Температура воды в Гданьской впадине, как видно из рисунка 1.5 б), также подвержена значительным межгодовым колебаниям, но в несколько меньшей степени, чем это характерно для Борнхольмской, что подтверждается меньшим значением дисперсии ряда  $D = 0,711$ ,  $\sigma = 0.843$ . Среднее значение температуры воды за рассматриваемый период составляет  $5,38^{\circ}\text{C}$ . Минимальные значения регистрировались в 1967 г. ( $4,0^{\circ}\text{C}$ ), в 1986 и 1988 гг. ( $4,2^{\circ}\text{C}$ ), а также в 1996 г. ( $4,0^{\circ}\text{C}$ ). Максимальные показатели температуры воды были свойственны для периода с 1977 по 1979 г. и для 1998 г. ( $7,0^{\circ}\text{C}$ ). Абсолютный максимум был достигнут в 1979 г. ( $7,4^{\circ}\text{C}$ ). В целом, с 1967 по 1979 гг. наблюдалась тенденция роста температуры воды в придонном горизонте. С 1980 по 1996 гг. температура незначительно колебалась около близкого к среднему значению без выраженной тенденции. В дальнейшем проявилась тенденция к резкому росту температуры, которая сменилась незначительным её снижением в начале XXI в.

В Готландской впадине для межгодовой динамики температуры воды в придонном горизонте свойственно редкое возникновение резких колебаний. Многолетний ход средних годовых температур носит более сглаженный характер относительно Гданьской и, в особенности, Борнхольмской впадин ( $D = 0,3081$ ,  $\sigma = 0,555$ ,  $x = 5,64^{\circ}\text{C}$ ).

Из рис. 1.5 в) следует, что минимальные значения температуры воды на горизонте от 200 до 230 м наблюдались в 1963 г. ( $5,4^{\circ}\text{C}$ ), в период с 1972 по 1974 г. ( $5,2$ ,  $5,4$ ,  $5,4^{\circ}\text{C}$  соответственно). Абсолютный минимум был достигнут в 1995 г. ( $4,6^{\circ}\text{C}$ ). Максимальные значения были характерны для 1977 и 1998 гг. ( $7,1$  и  $7,0^{\circ}\text{C}$  соответственно).

В монографии А.Е. Антонова [5] приведены данные по температуре воды в Готландской впадине в холодном промежуточном слое (от 40 до 80 м) в среднем за лето в период с 1947 по 1983 г. Максимальные значения температуры в данном случае были зафиксированы в 1949 ( $3,8^{\circ}\text{C}$ ), 1961 ( $4,2^{\circ}\text{C}$ ), 1971, 1974, 1976 гг. ( $4,0^{\circ}\text{C}$  соответственно). Минимальные значения температуры воды были отмечены в 1947 ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ), 1956 ( $2,2^{\circ}\text{C}$ ), 1963 ( $2,4^{\circ}\text{C}$ ), 1980 ( $2,1^{\circ}\text{C}$ ) и 1983 гг. ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ). Сравнительный анализ данных по многолетней динамике значений температуры в придонном и промежуточном горизонте Готландской впадины позволяет прийти к следующим выводам. Во-первых, в придонном горизонте периоды относительного

потепления пришлось на начало 1950-х и вторую половину 1970-х гг. В промежуточном холодном слое достаточно выраженное потепление пришлось на первую половину 1970-х годов. Во-вторых, периоды возрастания температуры в придонном горизонте обычно совпадают с периодами понижения температуры в промежуточном слое.

Соответствующий коэффициент корреляции  $r = -0,312$  при  $P = 95\%$ . Очевидно, подобная ситуация может быть объяснена следующим образом. Как уже отмечалось, в придонных горизонтах глубоководных впадин основным источником тепла является адвекция североморских вод. Но вторгающиеся в Балтику водные массы Северного моря обладают также повышенной солёностью и плотностью. В связи с этим в периоды особенно мощных вторжений, способных достичь Готландской впадины, в придонных горизонтах повышаются не только значения температуры, но и солености, что ведет к возрастанию плотностной вертикальной устойчивости водных масс и замедлению теплообмена с поверхностным прогреваемым слоем моря.

В результате температура придонных слоев возрастает, а промежуточного – несколько снижается. Соответствующий коэффициент корреляции между температурой и солёностью в придонном горизонте Готландской впадины  $r = 0,332$  при 95 % уровне обеспеченности.

Обобщив данные по многолетней динамике температуры воды в придонном горизонте глубоководных впадин Балтики, можно говорить о наличии единых в целом тенденций изменчивости. Значительное возрастание температуры во второй половине 1970-х и во второй половине 1990-х годов было отмечено во всех трех впадинах. Экстремальное снижение температуры воды в придонных горизонтах в середине 1990-х годов было характерно как для южных районов, так и для центральной части моря. Коэффициенты корреляции между динамикой температуры воды в придонном горизонте Борнхольмской и Гданьской впадин, Борнхольмской и Готландской впадин, Гданьской и Готландской впадин равны соответственно  $r = 0,591$ ,  $r = 0,586$  и  $r = 0,581$  при  $P = 99\%$ , что свидетельствует о наличии достаточно тесной связи между рядами. Значения дисперсии многолетних данных находятся в зависимости от степени удаленности района от Северного моря и зоны Датских проливов. Борнхольмский район, расположенный примерно в 200 км к востоку от

проливов, в наибольшей степени подвержен затокам североморских трансформированных водных масс, причём не только интенсивным и продолжительным, но и более слабым, которые наблюдаются здесь достаточно часто. Именно поэтому дисперсия и амплитуда колебаний достигают своих наибольших значений. Район Готландской впадины расположен примерно в 500 км к востоку от зоны Датских проливов. Этого района способны достичь только мощные и продолжительные вторжения, существенно меняющие гидрохимическую обстановку на значительной площади придонных горизонтов моря, что является довольно редким явлением. По этой причине в центральной части моря дисперсия значений температуры воды более чем в 4 раза, а амплитуда колебаний в 2 раза меньше, чем в Борнхольмском районе применительно к придонным слоям.

Ледовитость и её изменчивость являются важным интегральным показателем климата и его колебаний. В связи с этим рассмотрим подробнее особенности ледового режима Балтийского моря.

Ледовый режим Балтийского моря определяется географическим положением и климатическими условиями отдельных его районов, распреснённостью вод под влиянием речного стока, интенсивностью теплообмена открытой части моря с атмосферой, а также с заливами и Северным морем. Северным и восточным районам моря свойственны относительно суровые ледовые условия по причине более частых вторжений холодных воздушных масс. В западных и южных районах моря количество льдов бывает существенно меньше, так как здесь преобладают тёплые воздушные массы Атлантики.

Процессы лёдообразования и таяния льдов находятся в зависимости от типа суровости зим, определяемого преимущественно суммой отрицательных температур воздуха [9]. В суровые зимы ледовый покров формируется повсеместно и занимает всю северную часть моря, а также прибрежные воды южной и центральной Балтики; лёд появляется уже в конце декабря и достигает максимума своего развития к середине марта. В умеренные зимы ледовый покров наблюдается в северной части моря примерно до  $50^{\circ} 30' \text{ с.ш.}$  и в прибрежных водах южных и центральных районов. В мягкие зимы ледообразование начинается в конце января и распространяется только на северные прибрежные и центральные районы Балтийского моря.

Очищение ото льда, как правило, происходит в период с третьей декады апреля по первую декаду мая.

Свообразные ледовые условия характерны для Датских проливов. Здесь солёность поверхностных вод составляет в среднем 12 %, а глубинных – около 15 %. Как результат, замерзание здесь наступает позднее, чем в других районах, несмотря на наличие мелководий и значительную изрезанность береговой линии. В суровые зимы в зону Датских проливов под воздействием ветров восточных направлений периодически поступают льды из собственно Балтийского моря. В мягкие и умеренные зимы процессы ледообразования в проливах непродолжительны [9, 54].

Одним из основных показателей ледового режима является ледовитость, т.е. степень распространённости льда в море к определённому моменту времени. Ледовитость представляют как выраженное в процентах отношение площади, занятой льдом, ко всей площади рассматриваемого бассейна или его крупной части. При исследованиях многолетних колебаний ледовитости обычно используют площади моря, покрытые льдом в период максимального сезонного ледообразования. По ледовитости Балтийского моря имеется весьма продолжительный ряд наблюдений (см. рис. 1.6), однако точность определения ледовитости для различных периодов времени не одинакова. Первоначально этот параметр определяли преимущественно по косвенным сведениям, позднее – по данным о льдах, полученным на маяках, островных станциях и судах. Только в послевоенные годы сбор данных начал осуществляться на основе систематических авиаразведок льда, а начиная с 1970-х годов – с применением спутников.

Ледовитость зим на Балтике изменяется в широких пределах – от 15 до 95 %, когда практически все море покрывается льдом [54]. Значительный размах колебаний ледовитости моря вызвал необходимость типизации зим по степени суровости, что и было осуществлено различными авторами. В основу типизации закладывались различные принципы. Обычно использовали сумму градусо-дней мороза, накопившуюся за зимний период, которая тесно связана с площадью наибольшего распространения льда. При этом учитывались также распределение толщины льда, количество дней со льдом в году.

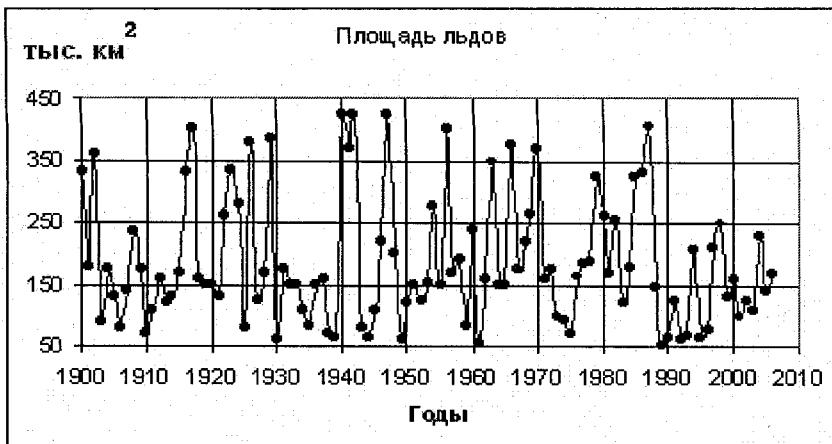


Рис. 1.6. Многолетняя изменчивость максимальных годовых площадей ледового покрова в Балтийском море.

В.В. Бетин [9] как фактор типизации использовал проходимость во льдах судов различного класса. А.Н. Крындин [40] основывался в основном на статистическом подходе. Все зимы им были разбиты на 5 классов: очень мягкие, мягкие, умеренные, суровые и очень суровые. Вероятность возникновения очень мягкой зимы оценивается в 26,6 %, мягкой в 24,2 %, умеренной – в 15,9 %, суровой – в 13,6 %, а очень суровой – в 19,7 %. Максимальная вероятность повторения в течение трёх лет подряд свойственна очень мягким (1,2 %) и мягким зимам (3,3 %), когда площадь ледяного покрова не превосходит 40 % площади моря. В то же время достаточно велика вероятность повторения очень суровых зим (0,8 %).

Рассмотрев весь период наблюдений, можно отметить преобладание мягких и очень мягких зим (52 %), доля суровых и очень суровых зим составляет 32 %. Среднее значение максимальных площадей ледового покрова для всего ряда составляет 222 тыс. км<sup>2</sup> (52 % от площади моря). С начала XX в. до 1940-х годов среднее значение ледовитости оказалось равным 42 %, т.е. было примерно на 10 % ниже нормы. Затем до 1960-х годов средняя ледовитость возросла до 51 %. В дальнейшем, в период с начала 60-х годов до середины 80-х, наблюдалась новая тенденция к потеплению, средняя величина максимальных площадей ледового покрова в этот период составила 180 тыс. км<sup>2</sup> (42 % от площади моря). В 1989 г. ледови-

тость достигла своего абсолютного минимума – 53 тыс. км<sup>2</sup> (12,5 % от общей площади).

В период с 1830 по 1900 г. Балтийское море полностью покрывалось льдом в зимы 1829/30, 1866/67, 1870/71, 1876/77, 1880/81, 1887/88, 1892/93 гг. В XX столетии Балтийское море полностью замерзло только два раза – в 1939/40 и 1941/42 гг.

Количественные изменения ледовитости в год (км<sup>2</sup>/год) свидетельствуют о том, что одно из наиболее выраженных потеплений в ХХ в. пришлось на период с 1969/70 по 1974/75 г. и составило 23,3 тыс. км<sup>2</sup>/год, а также на период с середины 1920-х годов до середины 1930-х годов – 14,3 тыс. км<sup>2</sup>/год. Максимальное похолодание отмечалось с середины 1930-х до начала 1940-х годов – 30,6 тыс. км<sup>2</sup>/год.

Установлена тесная корреляционная связь между ледовитостью Балтийского моря и средней за ледовый период температурой воздуха в Санкт – Петербурге ( $r = -0,80$ ), а также между ледовитостью и средней годовой температурой воздуха в Балтийске ( $r = -0,55$ ), Клайпеде (Литва) ( $r = -0,52$ ) и Павилосте (Латвия) ( $r = -0,58$ ) при  $P = 99\%$ .

#### 1.4. Речной сток

Внутриматериковое положение Балтийского моря, его незначительный объем и ослабленная связь с океаном определяют важную роль речного стока в формировании режима моря. Средний многолетний сток составляет 428 км<sup>3</sup> пресной воды или примерно 2,2 % от объема моря. Речной сток является основным компонентом водного баланса моря, так как речные воды составляют его третью часть [54]. Велико значение речного стока и в пресном балансе, поскольку разность в объеме вод, поступающих в море с осадками и испаряющихся с его поверхности, составляет менее 10 % объема стока [5]. Кроме того, речной сток является одним из главных факторов, действующих на режим мелководных заливов и верхнего квазиоднородного слоя моря. В немалой степени от объема поступающих пресных вод зависит бароклиническая циркуляция и интенсивность водообмена с Северным морем.

Площадь водосборного бассейна Балтийского моря составляет 17 % площади европейского материка и примерно в четыре раза превосходит площадь самого моря (рис. 1.7). В Балтику впадает около 250 рек. Разнообразие физико-географических условий на

территории водосбора приводит к неравномерному распределению речных систем. Большое количество рек, в основном незначительной водности, несут свои воды с гор Скандинавии в Ботнический залив. В Финский залив также впадает множество преимущественно мелких рек, берущих своё начало из лесных массивов по обе стороны.

Исключением здесь является Нева – крупнейшая река бассейна, ее средний годовой объём стока достигает  $77 \text{ км}^3$  (16 % общего), а площадь водосбора составляет  $281\,000 \text{ км}^2$ . В то же время с юга в море впадает только несколько крупных рек. На территории Польши располагается бассейн второй по величине реки региона – Вислы. Ее средний годовой объём стока равняется  $32 \text{ км}^3$  (7 % общего), площадь водосбора  $193\,866 \text{ км}^2$ . Достаточно крупной рекой может считаться р. Одер – её средний годовой объём стока составляет  $17 \text{ км}^3$ , площадь водосбора  $109\,364 \text{ км}^2$ . В целом 17 крупнейших рек бассейна Балтийского моря, среди которых можно назвать Даугаву, Неман, Буг, Гёта-Эльв и другие с общей площадью водосбора  $1091\,223 \text{ км}^2$  (63 % общей площади), определяют не менее 60 % суммарного стока в море. Согласно климатической классификации рек М.И. Львовича [43], на площади водосбора Балтийского моря наиболее распространены реки с одерианским, волжским и юконским типами водного режима.

Одерианский тип характеризуется преобладанием дождевого питания, наблюдается на реках умеренно-тёплых юго-западных областей бассейна.

Волжский тип отличается преобладанием снегового питания и весеннего стока. Он свойствен рекам умеренно-континентальных районов водосбора, где, по крайней мере, в течение двух месяцев температура воздуха ниже  $0^\circ\text{C}$  и зимние осадки аккумулируются в виде снега.

Юконский тип характеризуется преобладанием снегового питания и летнего стока. Он наблюдается на реках северных областей водосбора с умеренным климатом, где по причине позднего таяния снегов половодье смешается на лето.

Роль дождевого питания в режиме рек данного типа также существенна, что обусловлено не значительным слоем осадков в летний период, а малым испарением.

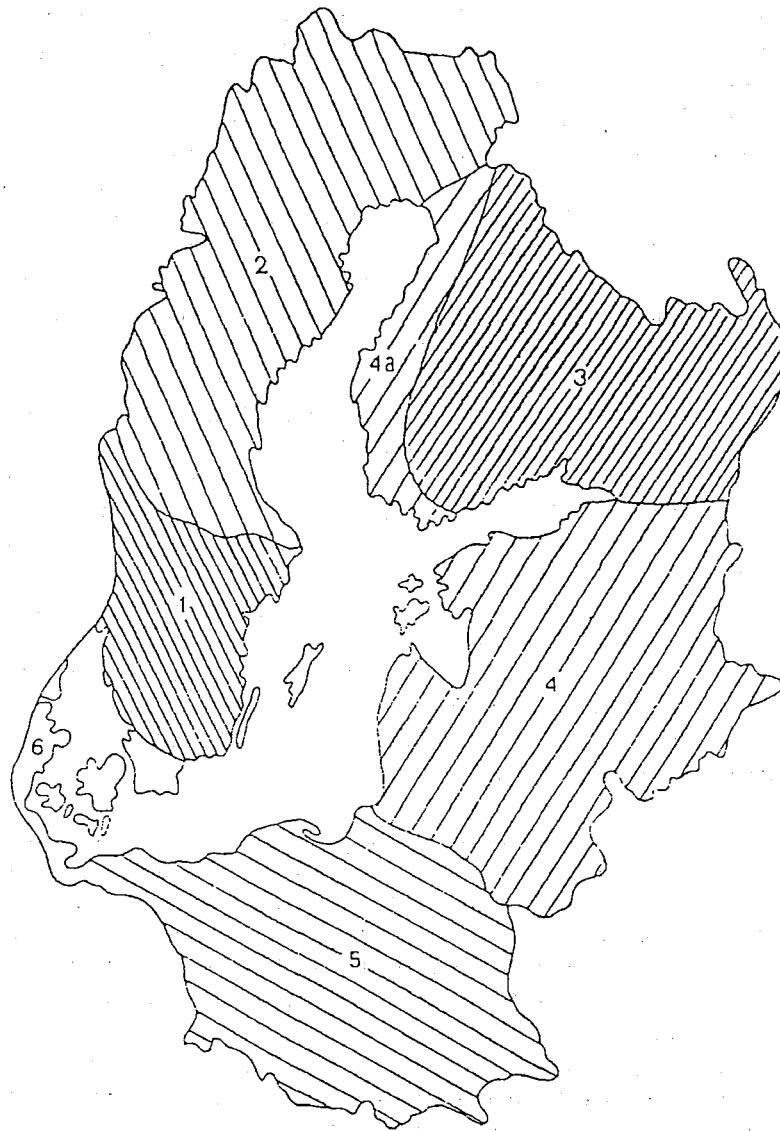


Рис. 1.7. Районы водосборного бассейна рек, впадающих в Балтийское море [54].  
1 – Средняя Швеция; 2 – Северо-запад; 3 – Северо-восток;  
4 – Прибалтика; 4а – финское побережье Ботнического залива;  
5 – Центральная Европа; 6 – Дания и юг Швеции.

По особенностям формирования годового хода и межгодовой изменчивости стока реки бассейна Балтийского моря можно подразделить на три типа [54].

Первый тип – реки, для временной изменчивости стока которых характерны хорошо выраженный годовой ход сложной формы и межгодовая изменчивость, проявляющаяся в виде модуляций годового хода (колебания от года к году формы, амплитуды, времени прохождения половодий и паводков) при относительно постоянном уровне водности в бассейнах рек. К этому типу принадлежат естественно неозёрные реки, такие как Луга, Даугава, Неман, режим стока которых зависит главным образом от климатических факторов.

Второй тип – реки, временная изменчивость стока которых проявляется в виде выраженного годового хода, а межгодовая изменчивость представлена не только в виде модуляций годового хода, но и в виде долгопериодных колебаний водности в их бассейнах. Включает озерные реки: Неву, Нарву, а также некоторые не озерные: Вислу, Одер, режим которых изменен под воздействием местных азональных факторов.

Для рек третьего типа характерен слабо выраженный годовой ход, проявляющийся на фоне выраженного долгопериодного колебания. Наблюдается на озерных реках, таких как Вуокса, Кеми-Йоки, Мотластрем, Гёта-Эльв, режим стока которых несколько изменен под воздействием долгопериодных колебаний уровня наполнения озёр.

Второй тип рек может считаться переходным от первого к третьему.

В пределах водосбора Балтийского моря на основе статистического анализа средних месячных расходов и особенностей годового хода стока рек можно выделить следующие районы: Средняя Швеция (1), Северо-запад (2), Северо-восток (3), Прибалтика (4), финское побережье Ботнического залива (4а), Центральная Европа (5), Дания и юг Швеции (6) (см. рис. 1.7). Кратко перечислим их главные особенности.

Реки Средней Швеции, такие как Даль-Эльвен, Ангерман-Эльвен и другие зарегулированы крупными озёрами, образующими единую систему. Вследствие этого для годового хода стока рек данного района не свойственны резкие колебания: половодье невысокое и растянутое, межень высокая и слабо выделяется в годовом ходе уровня. В весенний период или в начале лета (с мая по июнь) наблюдается незначительный максимум расхода воды, составляю-

щий от 8 до 10 % годового стока. Слабая годовая ритмика сочетается с долгопериодными колебаниями уровня наполнения озер.

Реки Северо-запада имеют ярко выраженный годовой ход стока. Основной максимум расходов (20 % годового стока) приходится на июнь и генетически связан с летним половодьем. Повышенный сток, обусловленный дождевыми паводками, отмечается в июле – августе и сентябре–октябре, пониженный – в декабре – марте. Минимальные расходы (4 % годового стока) соответствуют зимне – весенней межени и наблюдаются в феврале – марте.

Для годового хода стока рек Северо-Восточного района характерен весьма слаженный вид. Медленный подъём уровня начинается в марте (Нева), апреле (Кеми-Йоки) или в мае (Вуокса). В летний период по Неве проходит огромный по количеству воды и неизначительный по амплитуде колебаний уровень паводок, являющийся сливом вод из Ладожского озера. Остальные реки данного района также имеют максимум расходов летом, за которым следует постепенный спад на протяжении осенних и зимних месяцев. Расход в летние месяцы составляет от 8 до 10 % годового расхода, в зимне-весенние – от 6 до 8 %.

Годовой ход сток рек Прибалтики имеет два чётко выраженных максимума расходов, основной из которых связан с весенним половодьем, а вторичный – с осенним дождевым паводком. Минимумов тоже два, они обусловлены зимней и летней меженью. В отдельные годы в стоке рек может проявляться третий максимум расхода в августе, основанный на летнем дождовом паводке. В стоке Луги, Нарвы, Даугавы зимняя межень является самой выраженной и составляет период минимального стока. Сток Немана обладает более глубокой летней меженю, минимальный сток приходится на июль.

На реках Центральной Европы возрастает роль дождевых паводков, которые в особо дождливые годы следуют один за другим и по интенсивности могут достигать весеннего половодья. Главный максимум расходов (от 20 до 25 % годового) приходится на апрель, минимум (12 % годового) – на сентябрь – октябрь. Неравномерность стока весьма существенна, но выражена менее заметно, чем на реках Прибалтики.

Реки финского побережья Ботнического залива характеризуются ярко выраженным годовым ходом стока. Максимум расходов (30 % годового) приходится на май, минимум – на март (около 5 % годового стока).

Рекам Дании и Швеции свойствен принципиально иной вид годового хода стока. Повышенный сток (от 12 до 13 % годового) наблюдается с декабря по апрель, пониженный (3 % годового) – с мая по ноябрь. Повышенный сток формируется зимними осадками, которые выпадают в этом районе преимущественно в виде дождей.

Наибольшее количество пресной воды поступает в море в период половодья; максимум смещается с юго-запада на северо-восток, вслед за продвижением половодья по территории водосбора. Максимальный приток воды в зону Датских проливов наблюдается в январе – феврале, в юго-западную и центральную части Балтики – в марте – апреле, в юго-восточную часть моря и Рижский залив – в апреле – мае, в Ботнический и Финский заливы – в июне – августе.

Неравномерность во внутригодовом распределении стока также возрастает в направлении с юго-запада на северо-восток, достигая максимума в юго-восточной части моря, в Рижском и Ботническом заливах.

Межгодовая и многолетняя изменчивость стока рек впадающих в Балтийское море способна проявляться в виде модуляции годового хода (изменения от года к году формы, амплитуды, времени наступления половодья и паводка), а также в виде долгопериодных колебаний водности в бассейнах рек (изменение условий меженного стока). Первый тип межгодовой изменчивости характерен для рек, на режим которых преобладающее влияние оказывают климатические факторы. Долгопериодные колебания водности в бассейнах рек свойственны преимущественно озёрным рекам.

Анализ временных рядов средних годовых расходов рек, проведенный в работах [31, 52] показал, что по особенностям межгодовой изменчивости водности рек Балтийского моря можно выделить четыре района: 1) Скандинавский полуостров, 2) Северо-Восточная область бассейна, 3) Прибалтика, 4) Центральная Европа. Для рек, входящих в каждый из районов, средние годовые расходы воды имеют высокий уровень взаимной коррелированности – совпадают не только периоды односторонних колебаний общей водности, но и многоводные и маловодные группы лет. Многолетняя динамика средних годовых расходов воды рек, принадлежащих к четырем указанным выше районам, представлена на рисунках 1.8 и 1.9. Корреляционный анализ данных показал, что между расходами рек Вислы и Одера (южная часть водосбора), Кеми-Йоки и Даугавы (Северо-Восток – Прибалтика) существует значимая связь ( $r =$

0,251 при  $P = 95\%$  и  $r = 0,491$  при  $P = 99\%$ ). В то же время значимая связь между средним годовым стоком рек южных и северных районов водосбора отсутствует.

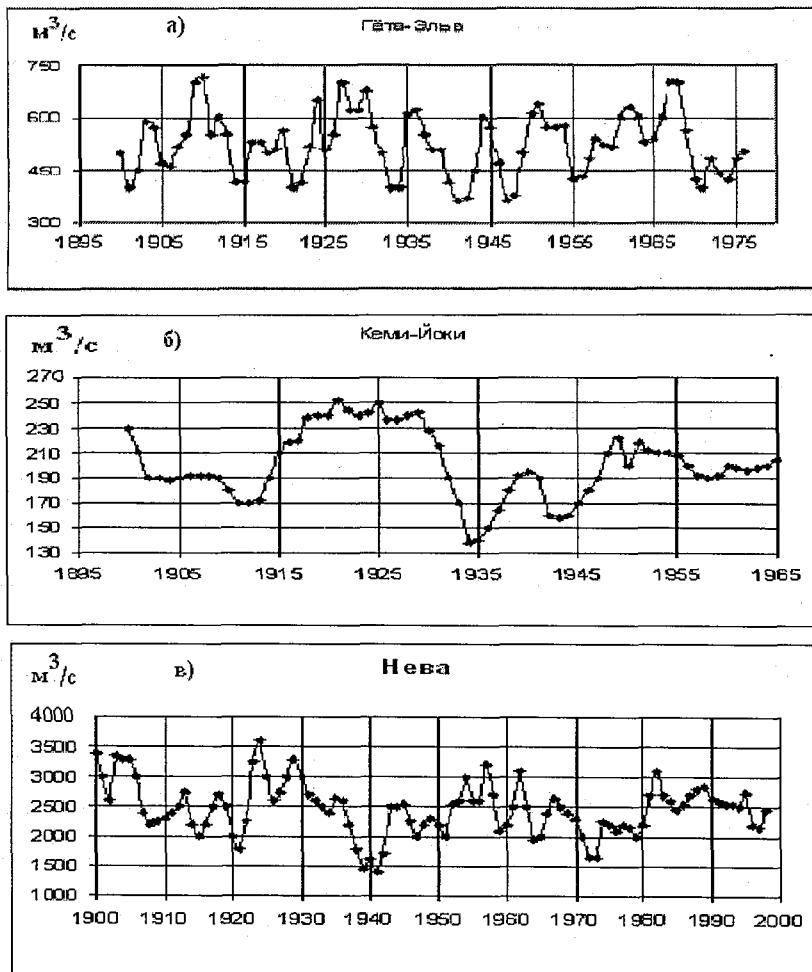


Рис. 1.8. Многолетняя динамика средних годовых расходов рек, принадлежащих к различным районам водосбора Балтийского моря.  
 а – Гёта-Эльв (Скандинавский полуостров, Швеция);  
 б – Кеми-Йоки (Северо-Восток, Финляндия);  
 в – Нева (Восток, Россия).

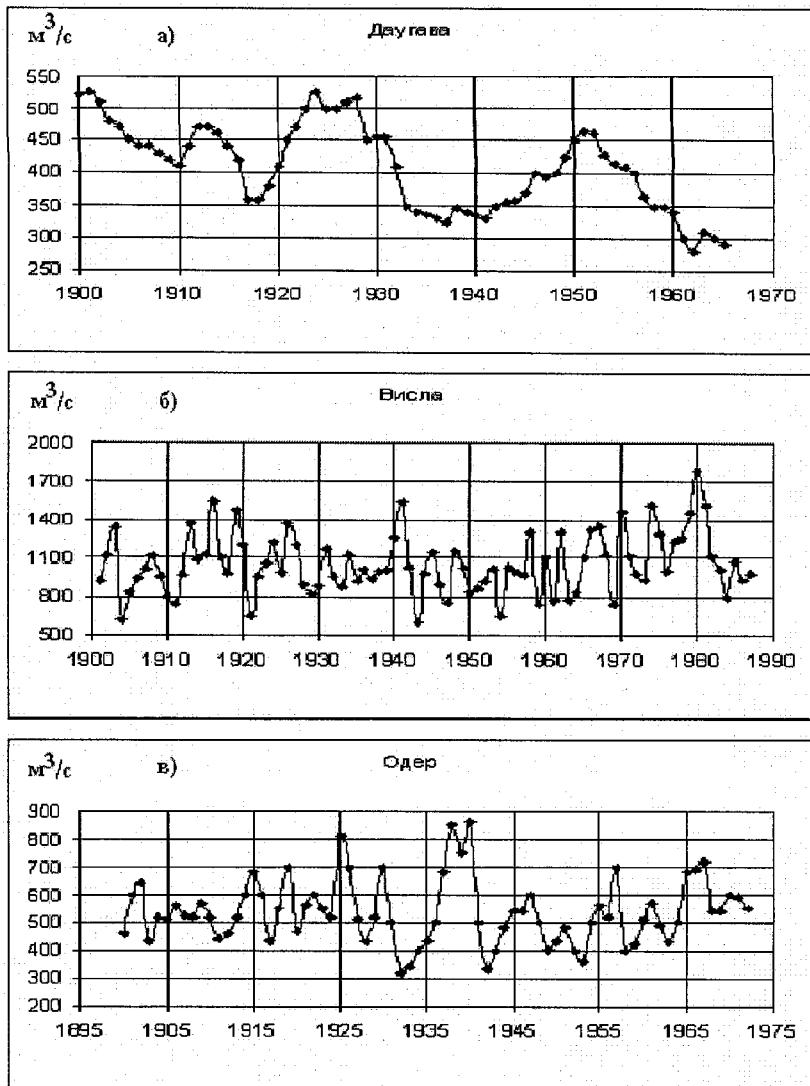


Рис. 1.9. Многолетняя динамика средних годовых расходов рек, принадлежащих к различным районам водосбора Балтийского моря.

а – Даугава (Прибалтика, Латвия);  
 б – Висла (Польша);  
 в – Одер (Германия).

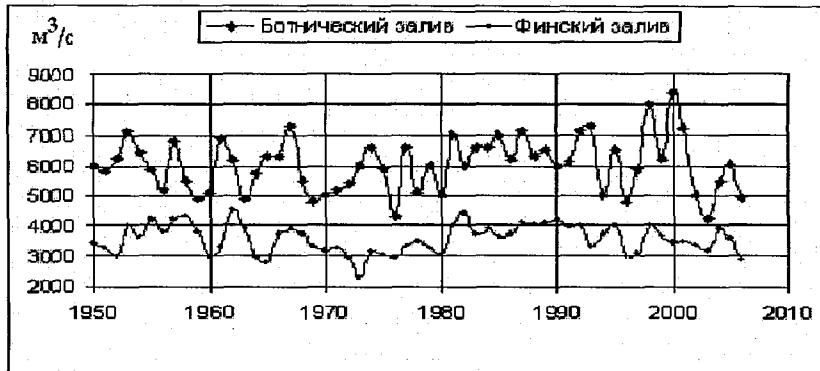


Рис. 1.10. Многолетняя динамика суммарных значений среднего годового речного стока в Ботнический и Финский заливы.

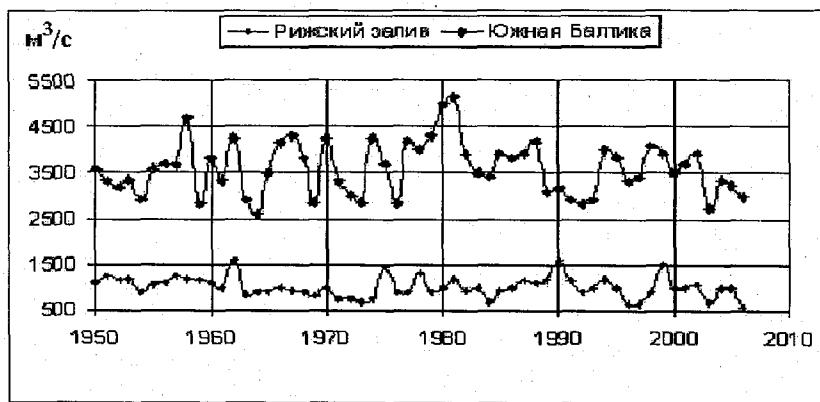


Рис. 1.11. Многолетняя динамика суммарных значений среднего годового речного стока в Южную Балтику и Рижский залив.

На рисунках 1.10 и 1.11 представлена многолетняя изменчивость суммарного стока в Ботнический, Финский и Рижский заливы, а также в Южную Балтику (к югу от широты, проходящей через г. Клайпеда). Как видно из представленных данных, в Ботнический залив поступает наибольший объем речных вод, который в среднем за рассматриваемый период составил около  $6100 \text{ м}^3/\text{с}$ . В Южную Балтику, несмотря на приуроченность к этому району устьев ряда крупных рек, таких как Неман, Висла, Одер и другие, в совокупности средний годовой сток оценивается в среднем около  $3600 \text{ м}^3/\text{с}$ ,

что составляет не более 60 % суммарного стока в Ботнический залив. Суммарный сток в Финский залив в среднем составил  $3560 \text{ м}^3/\text{с}$ . Наименьшее количество пресных речных вод поступает в Рижский залив, где средний многолетний годовой сток оценивается только в  $1030 \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимальные значения дисперсии и среднего квадратического отклонения свойственны для стока в Ботнический залив ( $D = 767850$ ,  $\sigma = 876,3$ ), минимальное характерно для суммарного стока в Рижский залив ( $D = 48195$ ,  $\sigma = 219,5$ ), который не менее чем на 70 % определяется стоком Даугавы. Установлено наличие достаточно тесной корреляционной связи между суммарным средним годовым стоком в Финский и Рижский заливы ( $r = 0,461$  при  $P = 99\%$ ). Между стоком в Ботнический залив и в Южную Балтику статистически значимая связь отсутствует, что говорит о наличии существенных региональных различий в процессах формирования стока.

Заметно, что длительность периодов односторонних изменений зависит от конкретного района: для Северо-Востока (2) она составляет в среднем от 10 до 20 лет, для Центральной Европы (4) – от 5 до 10 лет. Тем не менее реки Северо-Востока и Прибалтики имеют общие периоды уменьшения стока: 1903 – 1911, 1932 – 1939, 1959 – 1969 гг. и периоды возрастания стока: 1943 – 1958, 1977 – 1989 гг.

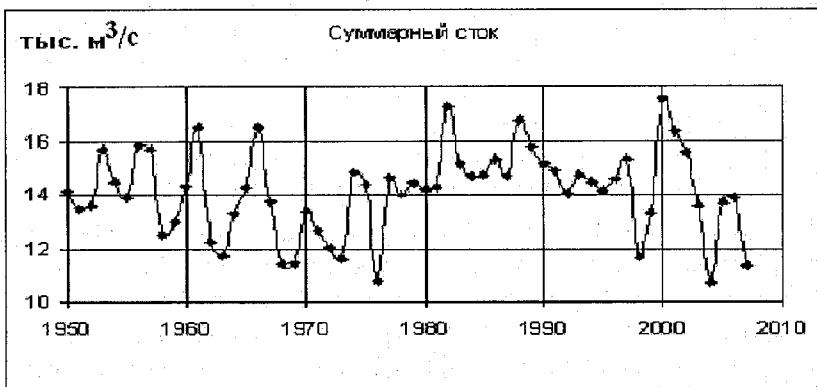


Рис. 1.12. Многолетняя динамика суммарного стока в Балтийское море.

На рис. 1.12 показана динамика суммарного стока в Балтику.

В работах З. Микульского и А.Е. Антонова [5] обнаружена высокая теснота корреляционной связи между стоком рек Северо-Восточной области (Нева, Вуокса, Кеми-Иоки) и суммарным стоком в море. Наши результаты подтверждают этот вывод. Между средними годовыми значениями суммарного речного стока в Балтийское море и расходов крупнейшей реки бассейна – Невы (пункт – Новосаратовка) коэффициент корреляции  $r = 0,721$  при  $P = 99\%$ . В связи с этим, расходы р. Невы могут применяться в качестве индикатора совокупного материального стока в море.

В целом, для большей части водосбора Балтийского моря в XX веке имели место следующие периоды возрастания и уменьшения суммарного материального стока. Значительное возрастание поступления речных вод в Балтику наблюдалось в начале 1920-х, 1950-х, а также в начале и во второй половине 1980-х годов. Тенденция к сокращению стока в море была свойственна для 1930-х гг. и для второй половины 1960-х гг.

### 1.5. Уровень моря

Уровень – одна из самых важных и изученных характеристик гидрологического режима Балтийского моря. Уровень моря является интегральным показателем проявлений различных гидрологических, метеорологических и геологических процессов. Применительно к задачам настоящего исследования рассмотрение межгодовых и сезонных колебаний уровня представляется весьма обоснованным в силу того, что от величины разностей уровней в Балтийском и Северном морях зависит направленность водных потоков в зоне Датских проливов. Это в свою очередь определяет условия для проникновения в Балтику североморских вод, способных оказывать существенное влияние на режим моря.

Первые наблюдения за уровнем Балтийского моря по фунтштоку в России были осуществлены в начале XVIII в. Среди других прибалтийских государств ранее всего регулярные наблюдения за уровнем были начаты в Швеции (Стокгольм, 1774 г.). В первой половине XIX в. во всех прибалтийских странах началось быстрое развитие национальных систем регулярных наблюдений за колебаниями уровня моря. В 1869 г. в Кронштадте и Свиноуйсьце были выполнены первые метеографные наблюдения. К 1940 г. на побе-

режье Балтики функционировало уже 60 уровенных постов, оборудованных метеографами. В настоящее время сеть уровенных станций и постов достаточно равномерно покрывает побережье

Балтийского моря. Длительность рядов наблюдений на отдельных станциях превышает 100 лет, однако в основном составляет от 40 до 60 лет.

Основу информационной базы для анализа колебаний уровня Балтийского моря составляют многолетние регулярные наблюдения на уровнях постах, расположение которых показано на рис. 1.13. В табл. 1.4 приведены названия постов в соответствии с их нумерацией на рис. 1.13, а также вероятностные характеристики наблюдений. Как видно из табл. 1.4, наиболее значительный вклад нерегулярных флюктуаций в динамику уровня моря характерен для постов наблюдений, располагающихся вблизи устьев крупных рек (посты Свиноуйсьце, Нарва, Кронштадт).

Уровенная поверхность Балтийского моря формируется в результате совместного влияния таких факторов, как речной сток, водообмен с Северным морем, атмосферные осадки и испарение с поверхности моря, изменчивость атмосферного давления, скорости ветра, приливово-образующих сил, циркуляции вод, и зависит также от колебаний земной коры и морфологических особенностей бассейна [54].

Вертикальные движения земной коры способны изменять высоту репера, движения которого (и вместе с ним нуля поста) изменяют высотное положение измеряемого уровня.

Исследования вековых колебаний уровня моря за последние 30 – 90 лет показали, что вертикальным движениям побережий Балтийского моря свойственно закономерное возрастание скорости поднятия земной коры в направлении с юго-запада на северо-восток. Линии равной скорости вертикальных движений (изобазы) располагаются параллельно друг другу. Нулевая изобаза проходит через Южную Швецию и участок Лиепая – Клайпеда. К северу от данной линии наблюдаются поднятия земной коры, к югу земная кора испытывает опускание. Максимальные скорости тектонических поднятий (до 9,7 мм/год) характерны для северной части Ботнического залива, наибольшие скорости опускания (до 10 мм/год) – для южного побережья Балтийского моря [37, 54].

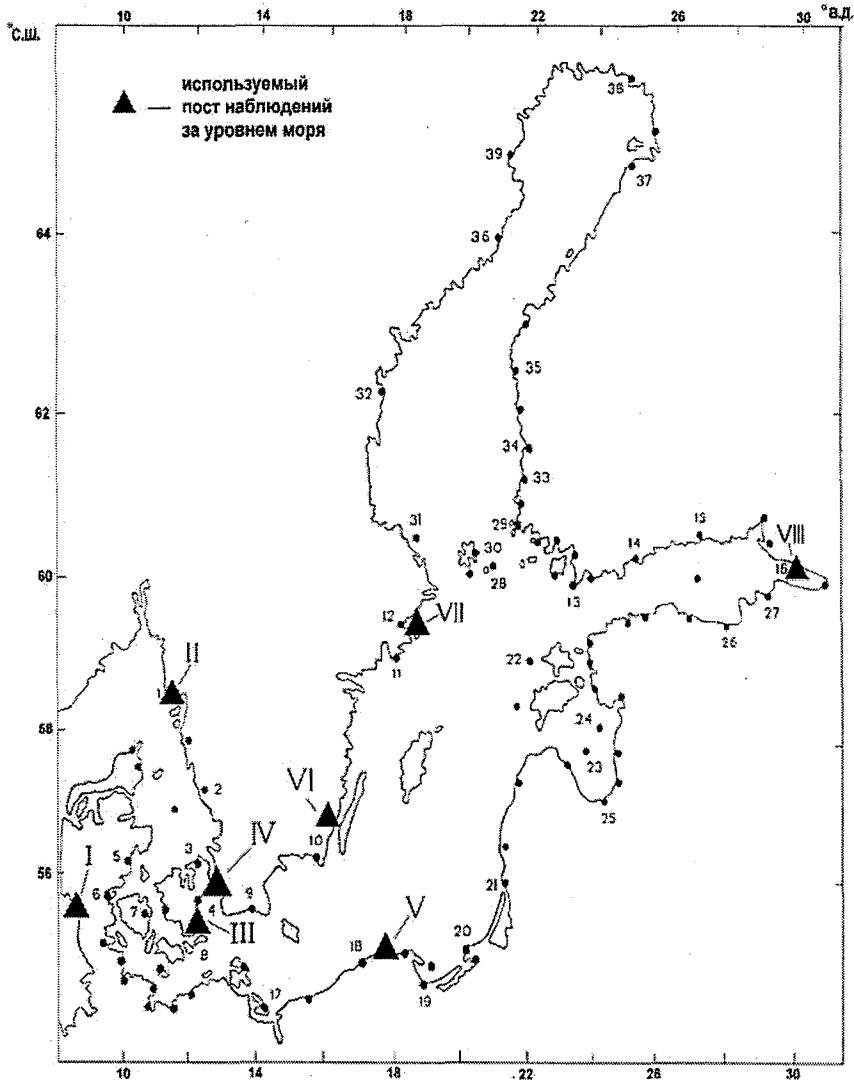


Рис. 1.13. Схема опорной сети уровенных постов Балтийского моря. Арабские цифры в поле рисунка соответствуют номеру поста в табл. 1.4. Условным знаком и римскими цифрами обозначены посты наблюдений за уровнем, данные по которым используются в настоящей работе.  
 I – Эсбьерг; II – Смоген; III – Гедсер; IV – Кобенхавн; V – Владиславово;  
 VI – Кунгхольмсфорст; VII – Стокгольм; VIII – Кронштадт.

Таблица 1.4

**Вероятностные характеристики колебаний уровня Балтийского моря  
для основных опорных постов наблюдений [54]**

Номер поста на рис. 1.13	Название поста	Среднее значение, см	Среднее квадратическое отклонение, см <sup>2</sup>	Вклад нерегулярных флуктуаций, %
1	Смеген	-22,6	10,8	55
2	Варберг	-21,8	11,1	58
3	Хорбек	-25,1	11,6	61
4	Копенгаген	-23,8	10,0	62
5	Орхус	-27,8	8,0	50
6	Фредерисия	-26,4	6,6	50
7	Корсер	-23,1	7,7	58
8	Гедсер	-21,9	9,8	73
9	Истад	-18,3	11,6	72
10	Карлскруна	-14,3	12,9	72
11	Ландсорт	-9,6	15,0	72
12	Стокгольм	-5,5	15,1	72
13	Ханко	-6,7	16,4	70
14	Хельсинки	-3,7	17,5	74
15	Хамина	-4,3	18,9	74
16	Кронштадт	-1,0	19,4	80
17	Свиноуйсьце	-18,9	11,6	80
18	Устка	-14,2	13,2	66
19	Гданьск	-15,8	13,9	63
20	Балтийск	-12,6	15,5	71
21	Клайпеда	-9,4	15,6	79
22	Ристна	-2,9	20,0	70
23	Кихну	-3,9	19,9	70
24	Рухну	-3,6	19,1	66
25	Даугавгрива	-9,1	17,1	80
26	Нарва	-0,4	18,3	82
27	Старое Гарколово	-2,6	19,8	72
28	Дегербю	-7,7	15,7	69
29	Люперте	-6,2	16,1	70
30	Лемстрем	-7,8	15,4	74
31	Бьерн	-8,2	16,1	70
32	Драгхеллан	-6,0	16,2	70
33	Раума	-7,0	17	74
34	Мянтулиото	-4,7	16,8	73
35	Каскинен	-2,4	17,2	71
36	Ратан	-2,3	17,2	73
37	Хорнанкалио	-0,4	18,2	71
38	Кеми	4,9	19,1	70
39	Фуруогрунд	0,6	17,9	73

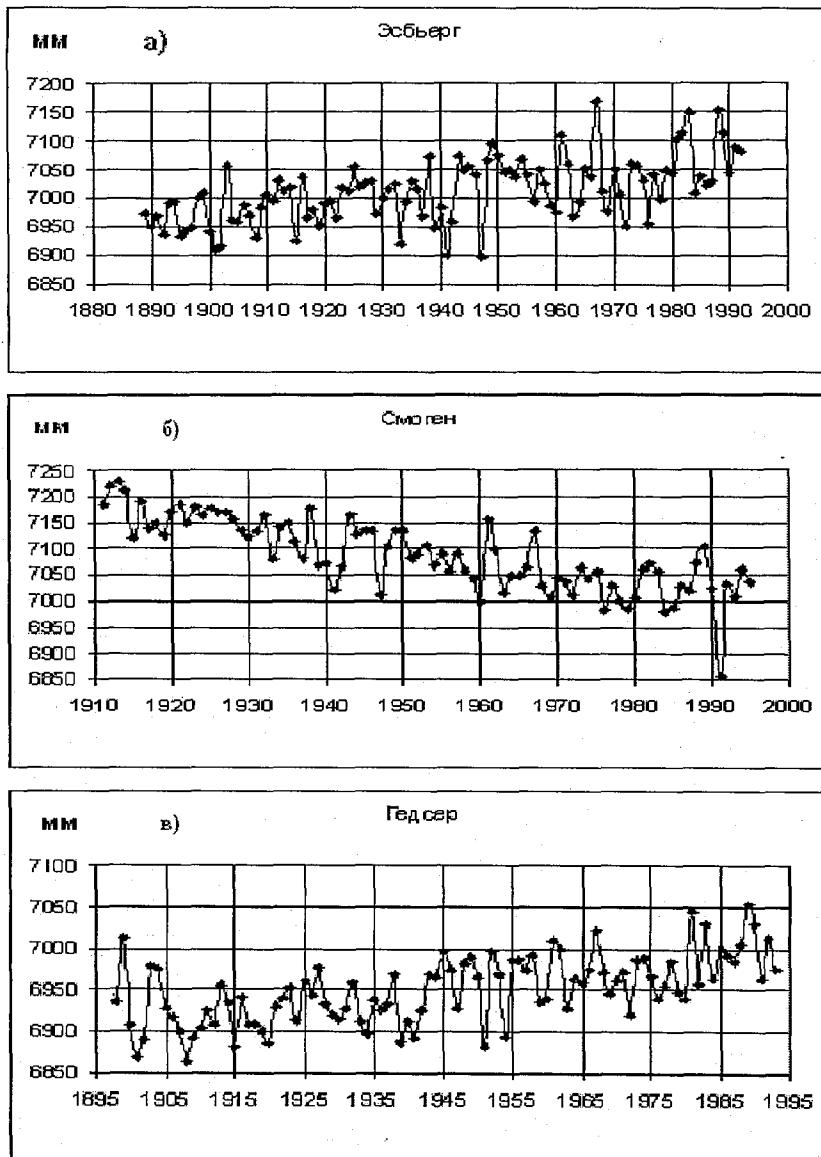


Рис. 1.14. Многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря на различных постах наблюдений в Южной Балтике.  
а – Эсбъерг; б – Смоген; в – Гедсер.

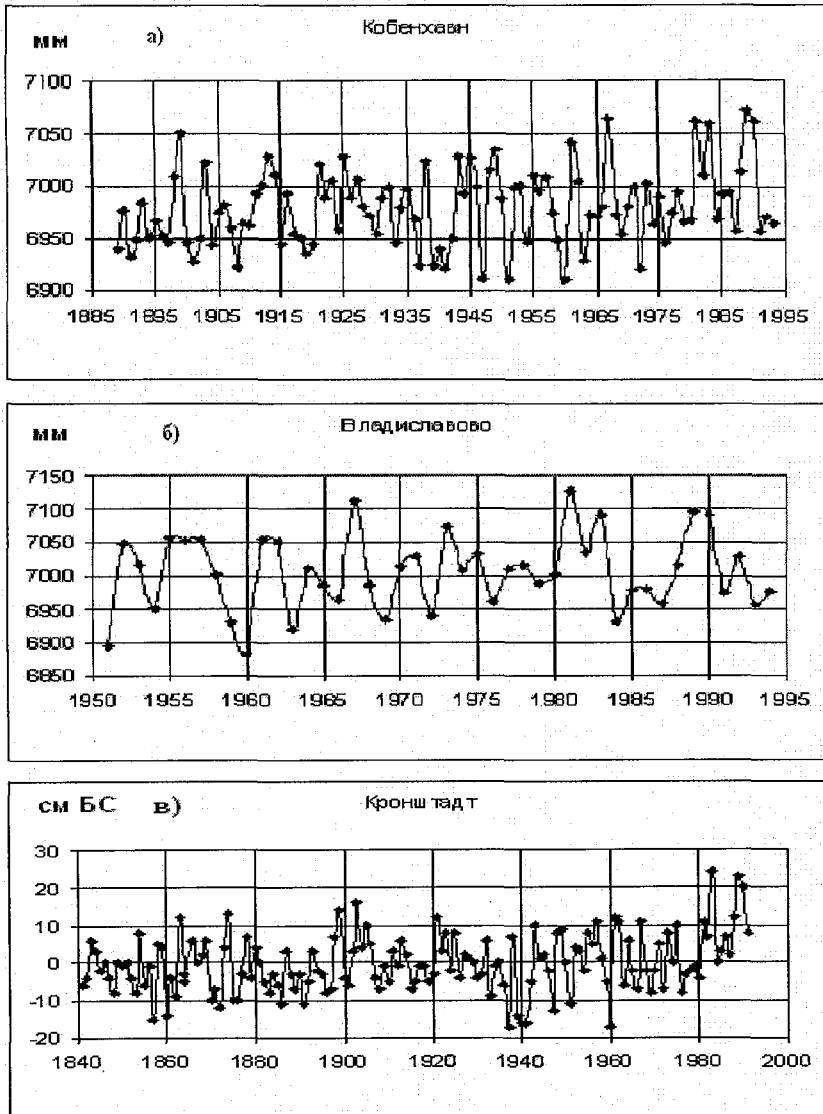


Рис. 1.15. Многолетняя динамика средних годовых значений уровня моря на различных постах наблюдений в Южной Балтике и Кронштадте.  
а – Копенгаген; б – Владиславово; в – Кронштадт.

В целом для большинства районов побережья Балтики скорость вертикальных движений находится в пределах + 5... -3 мм/год.

Приливные колебания уровня Балтийского моря проявляются в результате проникновения полусуточной приливной волны из Северного моря и собственных приливных колебаний суточного характера [34, 54]. На большей части акватории моря преобладают суточные и неправильные суточные приливные колебания уровня. Как правило, высота приливов в открытом море не превосходит 2 – 5 см. В шхерах и в вершинах заливов высота приливной волны увеличивается до 10 – 20 см. Так, в вершине Финского залива приливы имеют неправильный суточный характер и могут достигать высоты 20 см. В Рижском заливе и вдоль восточного побережья, начиная с района севернее Клайпеды, наблюдается четко выраженный суточный характер приливов. В районе Датских проливов приливные колебания носят неправильный полусуточный характер, в проливе Каттегат у западного побережья – правильный полусуточный, у восточного побережья – неправильный. В этих районах характер приливов определяется поступательной волной, идущей с Северного моря, а высота приливов колеблется от 5 – 10 до 10 – 20 см и в целом несколько выше у побережья Дании.

На рисунках 1.14. и 1.15 показана межгодовая (многолетняя) изменчивость значений среднего годового уровня Балтийского моря для пяти репрезентативных пунктов наблюдений. Координаты пунктов следующие: (а) – Эсбьерг (Esbjerg) 58°28' с.ш., 08°26' в.д., (б) – Смоген (Smogen) 58°22' с.ш., 11°13' в.д., (в) – Гедсер (Gedser) 54°34' с.ш., 11°56' в.д., (г) – Копенхавн (Kopenhagen) 55°41' с.ш., 12°54' в.д., (д) – Владиславово (Wladyslawowo) 54°48' с.ш., 18°25' в.д. Выбор конкретных пунктов был обусловлен, во-первых, наличием достаточно продолжительных рядов наблюдений (не менее 40 лет), во-вторых, расположением пунктов. Пункты Гедсер и Копенхавн находятся в зоне Датских проливов, пункт Смоген расположен в северной части пролива Каттегат, поэтому данные их наблюдений способны объективно отражать изменчивость уровня моря в районе наиболее тесного контакта и взаимодействия водных масс Балтики и Северного моря. Пункт Эсбьерг расположен на западном побережье Дании. Данные его наблюдений отражают колебания уровня в восточной части Северного моря, непосредственно примыкающей к зоне проливов. Пункт Владиславово отражает изменчивость уровня

в юго-восточной части Балтийского моря, граничащей с зоной проливов с востока. Пункт наблюдений Кунгхольмсфорст (Kungholmsfort) (см. рис. 1.13) расположен на побережье южной Швеции около о. Эланд ( $54^{\circ}48'$  с.ш.,  $18^{\circ}25'$  в.д.).

Анализируя данные рисунков 1.14 и 1.15, можно прийти к следующим выводам. Для всех пунктов наблюдений свойственны существенные межгодовые колебания. На постах Эсбьерг и Гедсер проявляется общая тенденция к постепенному возрастанию уровня моря за весь рассматриваемый период, на посту Смоген – к снижению. Уровень на посту Кобенхавн демонстрирует незначительное возрастание только с начала 1970-х годов. По-видимому, данная ситуация может объясняться воздействием вертикальных движений земной коры, выражавшихся в постепенном опускании территории Дании и поднятии территории Швеции. Колебания уровня моря, зарегистрированные на посту Владиславово, не позволяют однозначно говорить о наличии какой-либо заметной тенденции. Существенные возрастания уровня здесь были отмечены в 1967, 1981, 1989 гг., снижения – в 1951, 1960, 1963, 1969, 1984 гг. Минимальные значения дисперсии и среднего квадратического отклонения (СКО) свойственны для динамики уровня на посту Гедсер, максимальные – на посту Владиславово ( $D = 1311$ , СКО = 36,21 и  $D = 3311$ , СКО = 57,54 соответственно). Результаты корреляционного анализа многолетних данных по динамике уровней в Южной Балтике позволяют говорить о следующем. Для всех пунктов наблюдений свойственно наличие значимой связи положительного характера. Наиболее тесная связь проявляется между данными на постах Владиславово – Кобенхавн и Гедсер – Кобенхавн ( $r = 0,914$  при  $P = 99\%$  и  $r = 0,861$  при  $P = 99\%$ ), что может свидетельствовать о наличии единого процесса и общих тенденций определяющих изменчивость уровня в юго-восточном и юго-западном районах Балтики. Наименее тесная связь характерна для пунктов Смоген – Гедсер ( $r = 0,311$  при  $P = 95\%$ ), что, по-видимому, свидетельствует о сложности и неоднозначности процесса взаимодействия североморских вод, поступающих через пролив Каттегат с водными массами собственно Балтийского моря.

В сезонном ходе уровня для большинства районов Балтийского моря можно выделить два максимума и два минимума. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Анализ внутригодовой изменчивости позволил выделить четыре района с характерными особенностями в наступлении экстремумов [54].

Для зоны Датских проливов в годовом ходе уровня проявляется выраженный минимум в период с марта по май и максимум в августе (в западной части проливов) или в октябре (в восточной части). Для южного побережья Балтийского моря характерны два максимума: основной в августе и вторичный, менее значительный подъём уровня – в декабре. Проявление минимумов приходится соответственно на март – апрель и сентябрь – октябрь. Размах дисперсии годового хода уровня по сравнению с зоной проливов возрастает.

Около западного побережья моря, в Финском заливе, а также в южной части Ботнического залива в годовом ходе уровня наблюдаются два равных максимума – в августе и декабре, разделенные промежуточным минимумом в ноябре, и глубокий минимум в мае.

На большей части Ботнического залива изменчивость уровня в годовом ходе проявляется в равномерном его возрастании в период с мая по декабрь. Сопоставление статистических характеристик годового хода уровня моря показывает, что годовой ход дисперсии  $D(t)$  в основном повторяет ход математического ожидания  $m(t)$ , но сдвинут относительно последнего на 2 – 3 месяца. Значения дисперсии годового хода уровня моря увеличиваются по направлению с запада на восток и достигают максимума в юго-восточных районах моря и в Ботническом заливе.

Таким образом, наиболее общими чертами в годовом ходе уровня Балтийского моря можно признать наступление минимумов в весенний период и в начале осени. Максимальные значения уровня приходятся на лето и позднюю осень.

В результате того, что осенью в Северном море, в проливах Скагеррак и Каттегат, отмечается высокое стояние уровня, а в Балтийском море в этот период – низкое стояние, складываются благоприятные условия для возрастания притока солёных североморских вод в Балтику [4]. Таким образом, увеличение разницы между уровнем Каттегата и Балтийского моря является одной из основных причин способствующих проникновению североморских вод в Балтику. В связи с этим при исследовании особенностей механизма "влива" североморских вод следует обратить особое внимание на величины разностей уровней в осенний период.

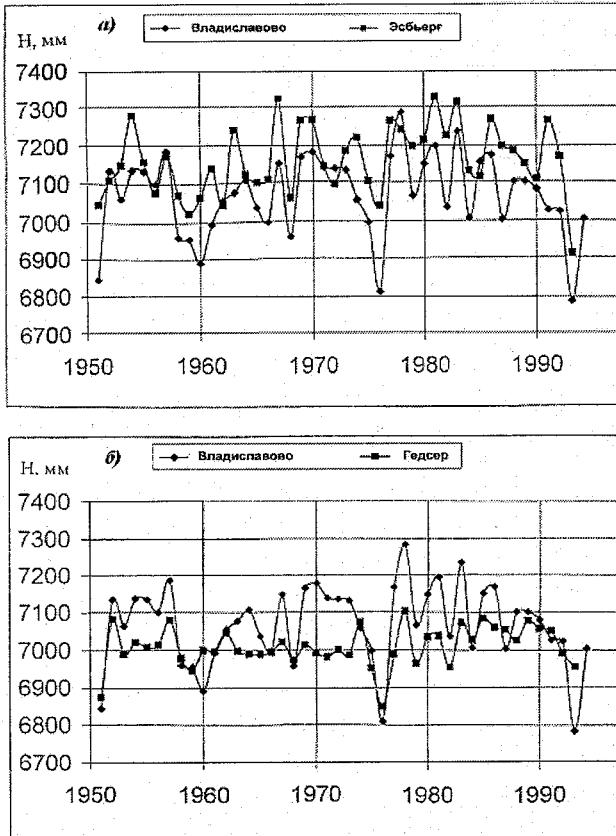


Рис. 1.16. Сравнение многолетней динамики средних за осенний период значений уровня Балтийского моря в пунктах Владиславово – Эсбьерг (а) и Владиславово – Гедсер (б).

На рисунках 1.16 и 1.17 представлены многолетние значения уровней моря, осреднённые за три осенних месяца (сентябрь – ноябрь) для тех же пунктов наблюдений, что использовались при рассмотрении средних годовых колебаний уровней. Анализируя данные этих рисунков, можно прийти к следующим выводам. Средний за осенний период уровень моря на посту Владиславово превышает соответствующий уровень на посту Гедсер практически на протяжении всего совместного периода наблюдений. При сравнении межгодового хода осенних уровней на постах Владиславово и Эсбь-

ерг обнаруживается противоположная картина – уровень в восточной части Северного моря практически всегда превосходит уровень в юго-восточной Балтике. В особенности это было характерно для 1954, 1963, 1967 и 1991–1992 гг. Соотношение осенних уровней на постах Владиславово – Смоген говорит о существенном превышении уровня в проливе Каттегат над уровнем в юго-восточной Балтике в периоды с 1958 по 1963 г. и с 1965 по 1968 г., а также в 1976 и 1993 гг. В 1980-е же годы, разность уровней была незначительной.

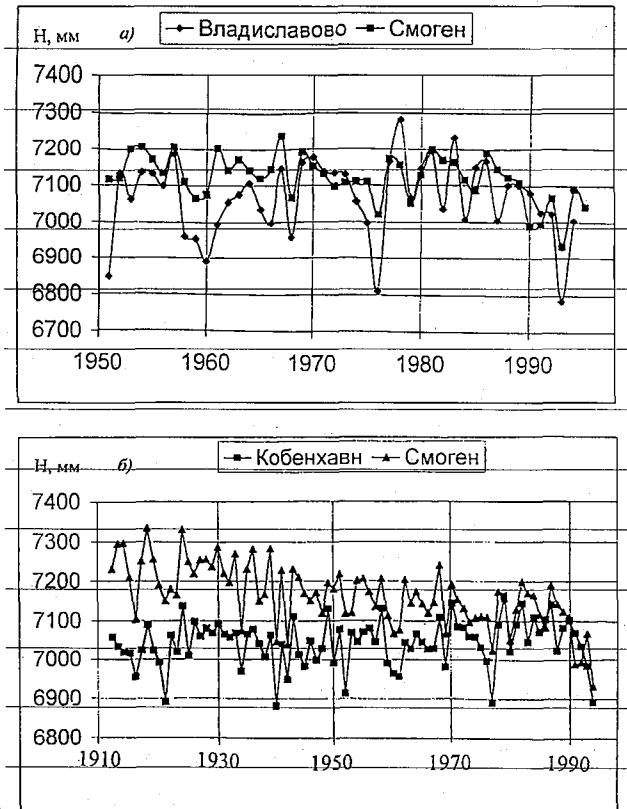


Рис. 1.17. Сравнение многолетней динамики средних за осенний период значений уровня Балтийского моря в пунктах Владиславово – Смоген (а) и Кобенхавн – Смоген (б).

Сравнивая значения уровней моря между постами Кобенхавн и Смоген (рис. 1.17 б) можно заметить, что в период с 1911 по 1938 г.

уровень моря в северной части пролива Каттегат значительно (от 100 до 250 мм) превышал уровень в юго-западной Балтике. В дальнейшем, до 1984 г., для величин разностей уровня были свойственны несколько меньшие значения относительно предшествующего периода, которые, как правило, не превосходили 150 мм. С 1985 по 1993 гг. уровень моря в северной части пролива Каттегат превосходил уровень на посту Кобенхавн не более чем на 100 мм, кроме того, в 1978, 1985, 1990 и 1991 гг. наблюдалась обратная ситуация, когда уровень моря в Юго-западной Балтике превышал уровень на посту Смоген. Максимальное превышение уровня наблюдалось в 1990 г. и составило 82 мм применительно к средним значениям за осень. Применительно к средним годовым значениям превышение составило только 38 мм. При сравнении осреднённых за осенний период значений уровня моря на постах Смоген и Гедсер обнаруживается, что в 1990 г. уровень на посту Гедсер превышал уровень на посту Смоген на 70 мм. Привлекая дополнительные данные, удалось установить, что уровень моря на посту Слипсхавн (Slipshavn,  $55^{\circ} 17' \text{с.ш.}$ ,  $10^{\circ} 50' \text{в.д.}$ ), который располагается в зоне Датских проливов на  $1^{\circ} 6'$  западнее пункта Гедсер, в 1990 г также превысил уровень на посту Смоген на максимальное значение за весь совместный ряд наблюдений. Это превышение составило 140 мм за осенний период, тогда как использование средних годовых величин уровней даёт превышение только на 70 мм. Таким образом, на основе сравнительного анализа динамики уровней моря, можно с уверенностью говорить о том, что в самом начале 1990-х годов имело место экстремальное возрастание уровня в юго-западной Балтике, что не могло способствовать возрастанию приточной составляющей водообмена между Балтийским и Северным морями и проникновению значительного объёма солёных вод с высоким содержанием растворенного кислорода на основные нерестилища донных рыб Балтики.

## **1.6. Водообмен между Балтийским и Северным морями**

Длинные и узкие Датские проливы (Большой и Малый Бельт, Эрессун (Зунд) обеспечивают относительную изолированность Балтийского моря от открытого океана.

На рис. 1.18 представлена схема рельефа дна Балтийского моря. Хорошо заметен особенно сложный характер рельефа в центральной и южной частях моря.

В настоящее время механизм водообмена в Датских проливах, согласно мнению большинства исследователей [4, 34, 54, 60, 62, 64] представляется следующим образом.

В районе Датских проливов и пролива Каттегат существует двухслойная система течений: в поверхностном опреснённом слое, водные потоки следуют в направлении Северного моря, формируя выходное течение, а в придонных горизонтах наблюдается проникновение солёных североморских вод в Балтийское море (входное течение). Такая система течений считается нормальной для данного района при малых скоростях ветра (до 5 м/с). При этом расходы верхнего потока могут значительно превосходить расходы нижнего. Так, при наличии антициклона над Центральной Европой, скорости ветра менее 8 м/с и значительном речном стоке, скорость течения на поверхности может в 20 раз превосходить придонные скорости.

Прохождение циклонов с Северной Атлантики на восток и северо-восток сопровождается сильными западными ветрами. При этом система течений в проливах перестраивается, и на всех горизонтах отмечаются входные потоки. В штормовых условиях в таких случаях в Балтийское море поступает огромное количество солёных вод. Так, в ноябре – декабре 1951 г. через проливы проследовало около 200 км<sup>3</sup> североморских вод, что составляет 40 % годовой нормы [54]. Сильные восточные ветры, напротив, благоприятствуют преобладающему выносу вод из Балтийского моря.

Таким образом, водообмен Балтийского моря с Северным, являясь весьма изменчивой характеристикой, может быть показателем характера и направленности взаимодействия водных масс этих морей. Водообмен принадлежит к числу главных факторов, определяющих гидрологический и гидробиологический режимы Балтики. В связи с этим рассмотрим его составляющие подробнее.

Водообмен между Балтийским и Северным морями формируется под влиянием ряда факторов. Одним из основных факторов является взаимодействие водной поверхности с атмосферными процессами, развивающимися непосредственно над акваторией проливов. Локальное воздействие ветра приводит к развитию дрейфовых течений и соответственно дрейфовой составляющей водообмена.

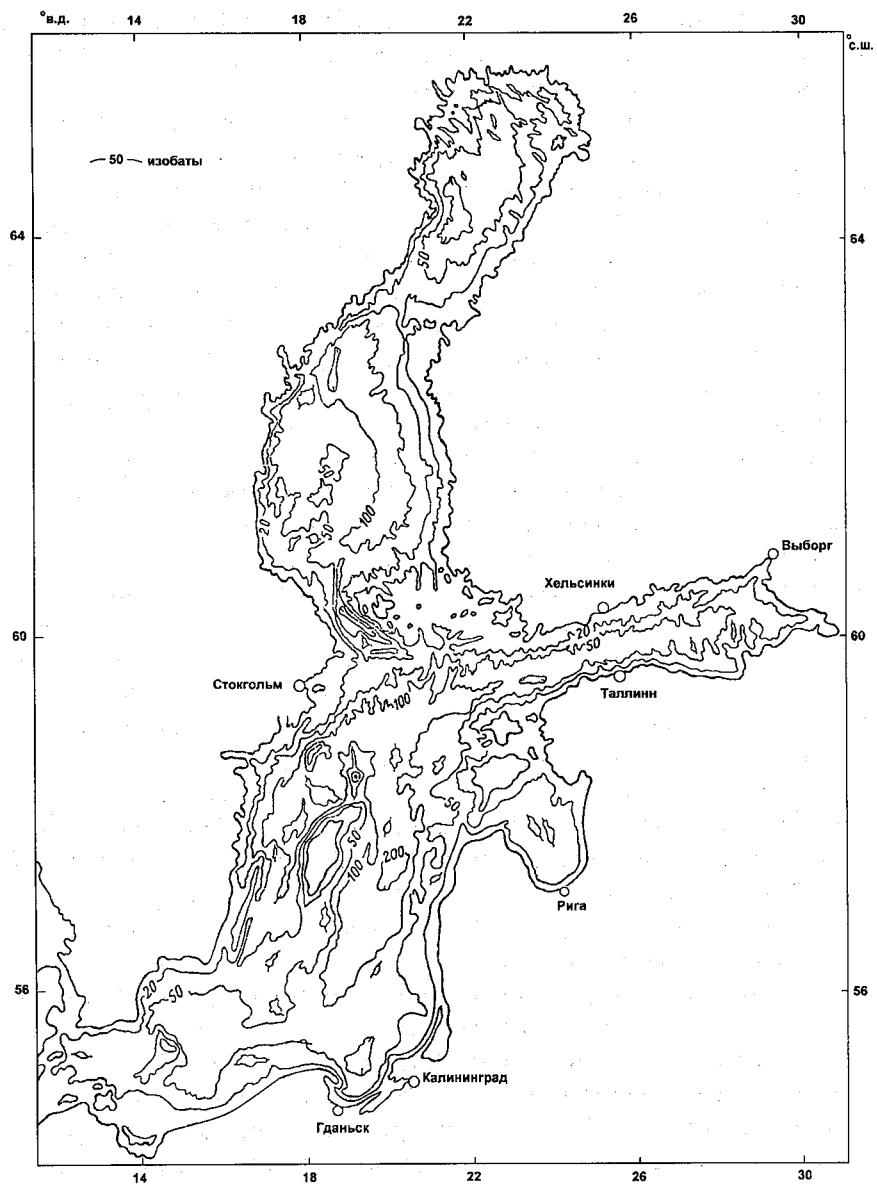


Рис. 1.18. Схема рельефа дна Балтийского моря.

Крупномасштабная изменчивость атмосферных процессов, развивающихся над Северной Атлантикой и территорией Европейского континента, приводит к колебаниям соотношения уровня между Балтийским и Северным морями. Возникающие в этом случае потоки воды в проливах также являются одним из факторов водообмена. В целом разность уровней между этими морями может служить индикатором интенсивности водообмена.

Третий фактор водообмена связан с выносом речных вод, поступающих в Балтику. За счёт речного стока создаётся постоянный поток пресных вод различной интенсивности, направленный в Северное море.

Компенсационное плотностное противотечение с незначительными по абсолютному значению скоростями потока составляет четвертый фактор водообмена.

Реальные направления и скорости течений в проливах слагаются из совокупности перечисленных факторов, создающих единую систему водообмена, изменчивость которого определяется изменчивостью его составляющих.

По данным ряда авторов [4, 5, 62, 77] на долю водообмена ( $Q_{\text{пр.}} + Q_{\text{от.}}$ ) через Датские проливы в водном балансе Балтийского моря приходится от 60 до 75 %. Таким образом, водообмен с Северным морем вносит наибольший вклад в водный баланс Балтики по сравнению с другими его компонентами (стоком рек, атмосферными осадками и испарением).

В годовом ходе суммарный водообмен ( $Q_{\text{сумм.}} = Q_{\text{пр.}} + Q_{\text{от.}}$ ) характеризуется максимумами в весенние месяцы; в этот же период в большинстве случаев наблюдается наибольший отток воды из Балтийского моря ( $Q_{\text{от.}}$ ), что видимо определяется максимальными расходами рек в период весеннего половодья. Максимальный приток воды в море ( $Q_{\text{пр.}}$ ) как правило, имеет место в осенний и зимний периоды в связи с усилением атмосферной циркуляции над морем и зоной проливов, что способствует поступлению вод в Балтику.

Межгодовая изменчивость водообмена между Балтийским и Северным морями и его составляющими проявляется в виде модуляций годового хода (изменений от года к году амплитуды, формы кривой, значений экстремумов) и долгопериодных колебаний. Анализируя временные ряды средних годовых значений притока, оттока (рис. 1.19), а также суммарного водообмена, приходим к выводу

о наличии следующих общих закономерностей. Во-первых, основываясь на имеющихся данных, нельзя выделить единой за рассматриваемый период тенденции. Во-вторых, проявляется совпадение некоторых особенностей временной изменчивости малых масштабов для всех компонент водообмена. В-третьих, наблюдается почти полная аналогия вида кривых оттока и суммарного водообмена, что свидетельствует о доминирующем влиянии оттока на формирование долгопериодной составляющей суммарного водообмена.



Рис. 1.19. Многолетняя динамика средних годовых значений приточной и отточной составляющих водообмена [54].

В межгодовой изменчивости притока воды в Балтийское море можно выделить следующие главные особенности (см. рис. 1.19). С начала XX в. до 1920 г. и с 1940 г. до 1950-х годов наблюдалось значительное возрастание приточной составляющей водообмена, причём наибольшие значения притока отмечались в последний период, когда максимумы, имевшие место в начале века, были превышены на  $150 - 200 \text{ км}^3/\text{год}$ . В начале 1970-х годов снова было зафиксировано несколько максимальных значений притока, приближающихся к экстремальным, однако ясная тенденция к возрастанию притока не проявилась.

Уменьшение поступления соленых североморских вод в Балтику было характерно для 90-х годов XIX в., для начала 1920-х годов. В период с 1920 по 1940 г. интенсивность притока  $Q_{\text{пр.}}$  находилась на низком уровне. Следующие периоды снижения притока пришлись на конец 1950-х годов и середину 1980-х – начало 1990-х. В

последний период наблюдалось самое значительное снижение интенсивности притока североморских вод в Балтику в XX в. Если произвести анализ изменчивости параметров водообмена относительно среднего многолетнего значения (нормы), то в результате можно выделить следующие периоды. Первый период (с 1900 по 1920 г.) характеризовался высокой интенсивностью поступления североморских вод в Балтику: 40 % случаев выше нормы, 57 % случаев в пределах нормы. Отток воды из моря, а также суммарный водообмен в этот период находились преимущественно в пределах нормы (50 %) и ниже нормы (40 %).

Второму периоду (с 1921 по 1949 г.) была свойственна пониженная и близкая к норме интенсивность притока воды в море: 45 % случаев находились ниже нормы, 54 % случаев – в пределах нормы. Стоковая компонента водообмена в это время была в основном в пределах нормы (52 %) и выше нормы (45 %). Значения суммарного водообмена в целом были повышенны (38 % случаев выше нормы). Число лет с режимом в пределах нормы во втором периоде было выше, чем в первом (60 %).

Для третьего периода (с 1950 по 1976 г.) в отличие от первых двух было свойственно относительно равномерное распределение интенсивности компонент водообмена. Число случаев выше и ниже нормы колебалось в пределах от 22 до 29 %, число случаев в пределах нормы составляло от 41 до 48 % [54].

## 1.7. Соленость воды

Соленость, наряду с другими гидрохимическими показателями, является важнейшей океанологической характеристикой и режимообразующим фактором. От концентрации солей в воде во многом зависит ход гидрофизических и гидробиологических процессов. Соленость принадлежит к числу главных факторов определяющих условия и эффективность нереста балтийской трески и камбалообразных. В связи с этим рассмотрим подробнее режим солёности Балтийского моря.

Регулярные гидрохимические наблюдения в акватории Балтийского моря стали проводиться с начала 1950-х годов. К настоящему времени сформирован достаточно большой объём данных на основе отечественных и зарубежных источников. В целом можно выделить

около 60 станций, имеющих многолетние ряды наблюдений (рис. 1.20). Из этих станций по принципу обеспеченности данными и их структуре можно выделить несколько групп [54].

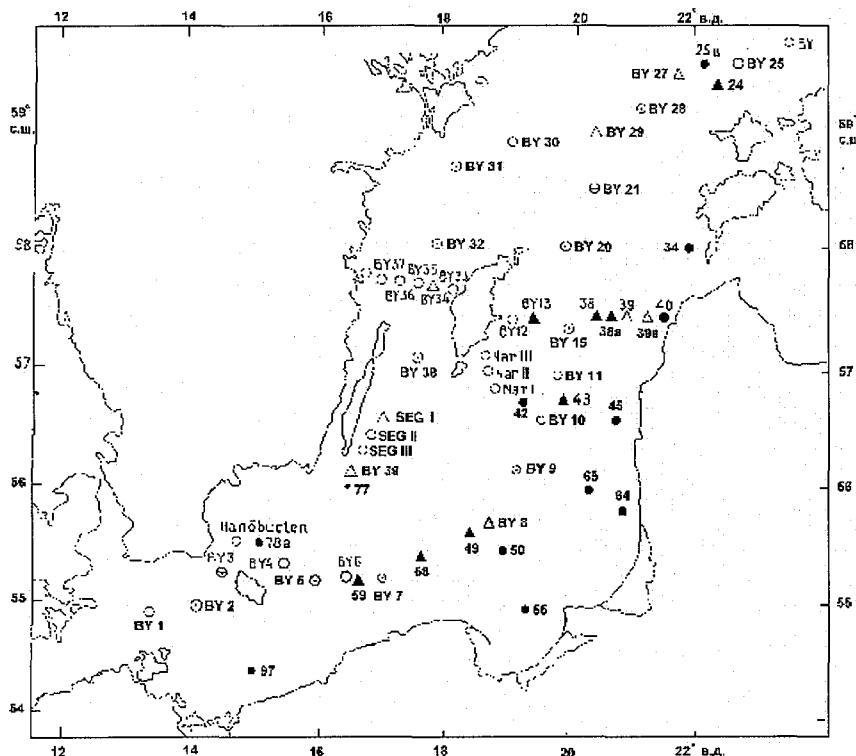


Рис. 1.20. Совмещённая сеть международных, шведских и отечественных станций гидрохимических наблюдений в Балтийском море [54].

Первая группа станций характеризуется наибольшим объёмом данных и однородным распределением их внутри года: BY2(80), BY3(79), BY5(62), BY7(58a), BY9(46), BY15(37), BY20(31), BY21(30), BY28(27), BY31(71a), BY32(71), BY38(69). Это международные станции, являющиеся основой национальной сети прибалтийских стран (в скобках указаны номера советской сети станций).

Вторая группа – станции, имеющие несколько меньший объём данных и неоднородное распределение наблюдений в течение года: BY8, BY27, BY29, BY34, BY39a – международные станции, входя-

щие в национальную сеть Швеции в качестве опорных (число наблюдений за солёностью и кислородом составляет от 4 до 7 раз в год); 13, 24, 38, 38а, 43, 49, 58, 59, – российские станции вековых разрезов.

Третья группа – отечественные и зарубежные станции, наблюдения на которых проводятся не более 3 – 4 раз в год: BY1, BY4, BY6, BY10, BY30 – шведские станции с сокращённым составом гидрохимических наблюдений; 1, 25в, 34, 42, 45, 50, 55, 64, 65, 77, 78а, 97 – отечественные станции сети ОГСНК с сезонным характером наблюдений.

Режим солености вод верхнего слоя Балтийского моря (до первичного галоклина) формируется во взаимодействии с океаном (обмен через Датские проливы с Северным морем), с материком (речной сток), с атмосферой (атмосферные осадки, поток соли на границе раздела вода – воздух, фазовые переходы вода – лед), а также в результате вертикального обмена с глубинным слоем моря. Характерной чертой режима солёности верхнего слоя вод Балтики является его сезонная изменчивость, однако размах колебаний относительно невелик. Максимальная амплитуда характерна для северной части моря (около 1 %), где преобладает воздействие речного стока, и для зоны Датских проливов (0,7 %), где изменчивость значений солёности находится в зависимости от сезонных колебаний водообмена с Северным морем.

Годовой ход солёности на поверхности в открытой части моря характеризуется продолжительными периодами с относительно низкой и высокой солёностью и короткими переходными интервалами. Повышенные значения наблюдаются в период осенне-зимнего осолонения, обусловленного развитием конвективных движений и ветро-волнового перемешивания вод верхнего слоя с водами галоклина. В северных и центральных районах моря развитию зимнего осолонения способствует льдообразование и уменьшение объема речного стока в январе – марте. В южных районах повышение солёности связано с возрастанием притока североморских вод через Датские проливы поздней осенью и зимой.

В период с конца марта по начало апреля пресный сток в море начинает возрастать, наблюдается преобладание осадков над испарением, что влечет за собой постепенное снижение солености на поверхности в открытых районах. В апреле этому процессу способ-

ствует таяние льда, а в мае – июне – большой сток рек. Наибольшее влияние весеннего поступления пресных вод заметно в северной части моря, поэтому в апреле – мае максимальные градиенты в пространственном распределении солёности характерны при переходе от северной к центральной части моря.

Дальнейшее возрастание объема речных вод, поступающих в море в период весеннего половодья, а также увеличение количества осадков при уменьшении испарения приводит к формированию общего периода пониженной солености, который заканчивается осенью в связи с сокращением поступления речных вод и развитием конвективного и ветрового перемешивания.

Годовой ход солёности, рассмотренный для поверхности, по-всеместно свойствен и глубинам до 20 м с уменьшением его амплитуды с глубиной. Однако в определённых фазах годового цикла наблюдаемые в поверхностном слое сезонные изменения распространяются на большую толщу вод. В холодный период возрастание солености по причине развития конвекции и волнового перемешивания охватывает всю толщу вод верхнего слоя до галоклина. Весной, когда повсеместно формируется поверхностный распреснённый слой с равномерным возрастанием солёности с глубиной, мощность его в северных и центральных районах моря достигает 40 – 50 м и уменьшается к югу до 30 м в Борнхольмском бассейне и до 20 м в Арконском [34].

Наряду с сезонными изменениями, едиными для всей толщи вод верхнего слоя, в тёплый период года в холодном промежуточном слое между термоклином и галоклином (от 30 до 50 м) наблюдается выраженное возрастание солёности, обусловленное проникновением североморских вод по глубинному слою (до Слупского порога) и по галоклину с подъёмом их к поверхности [34]. В Арконской впадине адвекция в это время приводит к существенному (с 12 до 13 %) возрастанию солёности на глубинах от 20 до 40 м начиная с конца июня и до декабря, когда дальнейшее повышение солёности определяется усилением роли штормовых нагонов из зоны Датских проливов.

Аналогичный эффект летнего возрастания солёности проявляется также в Борнхольмской и Готландской впадинах с июня по ноябрь. В этот период повышение солёности охватывает слой до термоклина (от 30 до 50 м).

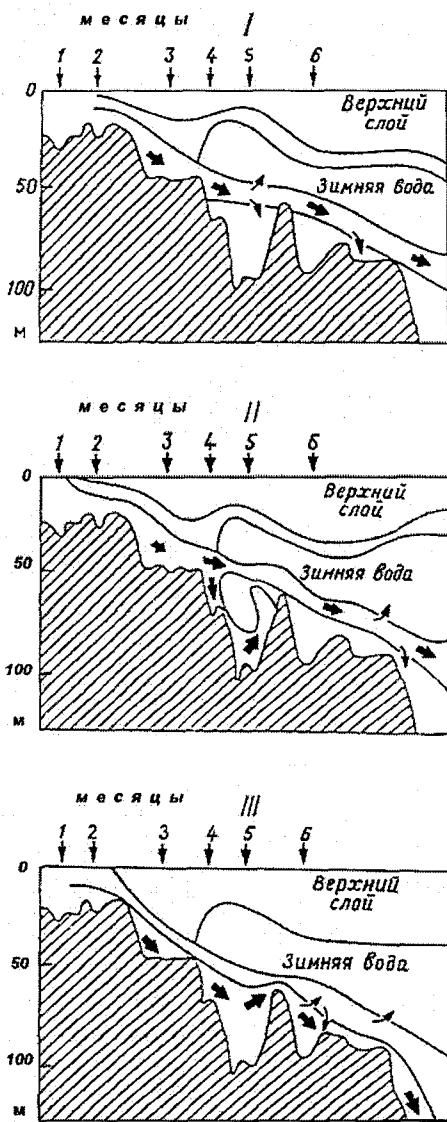


Рис. 1.21. Схема распространения североморских вод в Балтику от входного района Датских проливов до Готландской впадины при различных типах их поступлений в период с января по июнь [54].

Исходя из целей настоящей работы, представляются наиболее интересными крупномасштабные изменения гидрохимических условий в глубинном слое Балтийского моря, связанные с вторжениями североморских вод. Проникновение вод с повышенной соленостью из Северного моря в Балтийское происходит почти ежегодно, но объём проникающих водных масс и интенсивность этого процесса могут быть различными. Потоки североморских вод высокой солености, эффективные для обновления глубинного слоя на относительно большой площади, в южной части моря наблюдаются один раз в 3–5 лет [5, 54]. Наиболее мощные вторжения водных масс высокой плотности, способные привести к обновлению вод всего глубинного слоя моря, происходят крайне редко.

Рассмотрим схемы распространения притоков, поступающих через Датские проливы, в зависимости от их мощности и топографии дна (рис. 1.21).

Распространение вод высокой плотности и большого объема через Датские проливы осуществляется путём последовательного заполнения глубоководных впадин с вытеснением менее соленых легких старых вод в верхние слои. При этом большое значение имеют глубины над порогами у входа в глубоководные бассейны, нежели глубина самих впадин. Для эффективности притока более важна плотность поступающих вод, а не их объем, но и при слишком малом количестве высокосолёных вод воздействие притока будет незначительным [32, 33].

Наиболее часты входные потоки малой мощности, которые, заполняя Арконскую впадину, уже здесь теряют запас плотности для дальнейшего продвижения в виде придонного течения (рис. 1.21, тип I). В таком случае трансформированные воды входного потока продвигаются далее в слое от 60 до 80 м по галоклину.

При большей мощности поступлений (тип II) обновление глубинного слоя за счёт механизма вытеснения старых вод происходит также и в Борнхольмской впадине.

В случае возникновения наиболее мощных вторжений (тип III) после заполнения поступающими водами Борнхольмской котловины до глубины Слупского порога (60 м) осуществляется дальнейший транзит вод в виде придонного течения. Достигая южной части Готландской котловины, частично трансформированные североморские воды распределяются в зависимости от своей плотности на

различных глубинах. В дальнейшем, как было показано Фонселиусом [82], эти воды при оптимальном распределении плотности могут обновлять даже глубинный слой Ландсортской впадины.

Изменчивость режима солёности в глубинном слое, связанная с вторжением североморских вод, происходит с различным сдвигом во времени, зависящим от объема, солёности притоков и конкретного района. В Борнхольмской впадине обновление вод осуществляется достаточно быстро – например, в 1969 г. это произошло уже через месяц после поступления вод через проливы. В Готландской впадине для обновления требуется от 4 до 9 месяцев, в Ландсортской – до двух лет [54].

Рассмотрим многолетние колебания солености в Борнхольмской, Гданьской и Готландской впадинах, являющихся основными нерестилищами для донных рыб (рисунки 1.22 и 1.23). Даные по солёности воды за период с 1947 по 1979 г. взяты из монографии А.Е. Антонова [5], за период с 1980 по 2000 г. из статьи А.С. Зезеры [32], с 2001 по 2006 г. – из статьи А.С. Зезеры и Е.А. Грибова [33], с 2003 по 2007 гг.– по данным HELCOM [104].



Рис. 1.22. Многолетняя динамика средних годовых значений солёности в придонном слое Борнхольмской и Гданьской впадин.

Из рис. 1.22 видно, что в Борнхольмской впадине в придонном горизонте на глубине 80 м наблюдаются значительные колебания солёности. Наибольшие значения за рассматриваемый период были достигнуты в 1952 и 1993 гг. (17,5 и 18,4 % соответственно). Наи-

меньшие были характерны для 1956 и 1975 гг. (12,1 и 12,6 % соответственно). С 1960-х до середины 1980-х годов имела место определенная тенденция к общему увеличению солёности на фоне выраженных межгодовых колебаний. Однако в период с конца 1980-х по начало 1990-х годов наблюдалось резкое снижение солености до значений свойственных началу 1960-х гг. (около 14,5 %). Затем, с 1993 г. соленость вновь резко возросла, что позволяет говорить о наступлении нового этапа в ее изменчивости. При этом динамика солёности на горизонте в 70 м достаточно точно соответствует изменчивости в придонном горизонте.

Динамика солёности в Гданьской впадине (рис. 1.22) носит достаточно выраженный характер. Максимальное значение средней годовой солёности на горизонте 100 м было зарегистрировано в 1952 г. и составило 13,8 %. С 1955 по 1960 г. наблюдалось значительное снижение солёности. В этот период она колебалась в пределах от 10,9 до 9,8 %. В след за этим, на фоне значительных межгодовых колебаний, последовала тенденция к возрастанию солёности до значения 13,2 %, достигнутому в 1970 г. Затем возникла долговременная тенденция к снижению солености, и в 1990 г. она достигла одного из самых низких за рассматриваемый период значений – 9,6 %. Но, в 1994 г. солёность вновь резко возросла до 13 %, после чего несколько снизилась.



Рис. 1.23. Многолетняя динамика средних годовых значений солёности в Готландской впадине в придонном слое на глубине 240 м

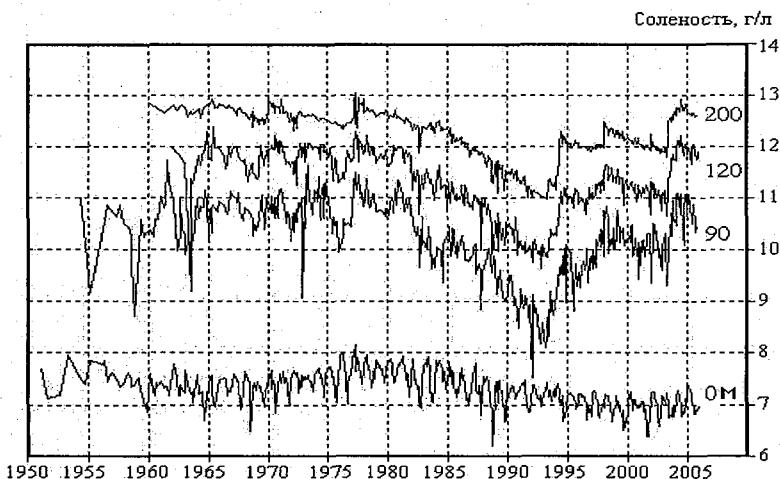


Рис. 1.24. Многолетняя динамика средних месячных значений солёности на поверхности и в толще вод Готландской впадины [104].

В Готландской впадине (рис. 1.23, 1.24) на глубине 240 м наибольшие значения солености за рассматриваемый период (< 14 %) наблюдались в начале 1950-х годов. Вслед за этим последовало плавное снижение солености до уровня 12,7 % в 1961 г. В дальнейшем, на протяжении 15 лет ход значений солёности был близок к квазистационарному. В 1976 г. солёность возросла с 12,5 до 13,3 %, после чего наметилась тенденция к плавному снижению солёности до значений от 11,7 до 11,5 % в конце 1980-х годов. В 1992 г. было зарегистрировано наиболее низкое значение солёности воды в придонном горизонте за весь период инструментальных наблюдений – 11 %. Однако уже в 1994 г. солёность заметно повысилась до 12 %. В 1998 и 2003 гг. наблюдались незначительные повышения солёности до 12,5 и 12,3 % соответственно. Многолетняя изменчивость солёности в промежуточном слое на глубинах около 100 м в целом весьма тесно согласуется с ходом значений солёности в придонном слое ( $r = 0,662$  при  $P = 99 \%$ )

Дополнительной иллюстрацией к закономерностям многолетней изменчивости солёности в Готландской впадине являются данные, приведённые в табл. 1.5. Заметно, что средневзвешенная солёность в слое от 100 до 200 м в период с 1921 по 1940 г. не превыша-

ла 11,5 %, а глубина залегания изогалины 10 % составляла не менее 90 м. С 1951 по 1955 г. средневзвешенная соленость достигла максимума (12,4 %), а глубина залегания изогалины – 10 %, т.е. минимально допустимого значения солёности необходимого для относительно нормального размножения донных рыб уменьшилась до 78 м. В дальнейшем наблюдалось плавное снижение солености, глубина залегания изогалины 10 % возросла до 84 м. Однако в начале 1970-х годов было отмечено поднятие изогалины 10 % на глубину 78 м, свидетельствующее о новом периоде осолонения. С середины 1980-х годов солёность снова начинает снижаться. С 1987 по 1991 г. значения солёности в придонных и глубинных горизонтах Готландской впадины снижаются до абсолютного минимума. Зимой и весной 1991 г. в слое от 100 до 200 м, по данным БалтНИИРХ, были зафиксированы абсолютные минимальные значения солёности за всё время инструментальных наблюдений – 10,1 – 10,2 %. Глубина залегания изогалины 10 % также достигла рекордной отметки – 136 м, что привело к значительному сокращению пригодного для нереста донных рыб объёма вод.

Для Ландсортской, наиболее глубоководной (более 400 м) и отдаленной от зоны Датских проливов, впадины, многолетняя изменчивость солёности также характерна. В период с 1953 по 1957 г. значения солености находились на высоком для данного района уровне в 11,4 – 11,7 %. Затем последовала тенденция к резкому снижению солёности до значений 10,6 % наблюдавшихся в 1959 и 1960 гг. Следующие максимумы пришлись на 1971 (11,6 %) и 1978 (11,7 %) гг. В дальнейшем, с начала 1980-х годов наблюдалась тенденция к постепенному снижению солёности до наименьшего уровня (10,4 %) в 1984 г.

Итак, для многолетней изменчивости солености в глубоководных впадинах Балтийского моря свойственны следующие главные особенности. Борнхольмская впадина в силу своей относительной близости к Датским проливам в наибольшей степени подвержена влиянию североморских вод. Здесь наблюдается высокая изменчивость значений солености с максимальной амплитудой (до 4 %), так как даже незначительные по мощности вторжения способны изменить гидрохимическую обстановку. Колебания солености в крупнейшей по площади и более глубокой Готландской впадине, расположенной в центральной части моря, носят менее изменчивый характер. Очевидно, что здесь колебания основных гидрохимических па-

раметров будут во многом определяться только достаточно интенсивными и продолжительными вторжениями североморских вод. В Ландсортской впадине амплитуда колебаний солености согласно многолетним данным, минимальна и не превышает 1,5 %. Наступление максимумов и минимумов значений солёности здесь запаздывает во времени примерно на 2 года относительно более южных районов.

Таблица 1.5

**Средние за 5-летия значения солености в слое от 100 до 200 м и глубины залегания изогалины 10 % в центре Готландской впадины**

Пятилетия	Солёность в слое от 100 до 200 м	Положение изогалины 10 %
1901 – 1905	–	95
1906 – 1910	11,4	98
1911 – 1915	–	94
1916 – 1920	–	–
1921 – 1925	11,5	93
1926 – 1930	11,5	90
1931 – 1935	11,2	99
1936 – 1940	11,4	95
1941 – 1945	11,7	–
1946 – 1950	12,0	83
1951 – 1955	12,4	78
1956 – 1960	12,3	82
1961 – 1965	12,2	79
1966 – 1970	12,0	84
1971 – 1975	12,1	78
1976 – 1980	12,0	84
1981 – 1985	11,8	90
1986 – 1990	10,5	124
1986	11,4	101
1987	11,3	100
1988	11,0	101
1989	10,6	125
1990	10,5	124
1991	10,1	136

*Примечание.* Знак “–” обозначает отсутствие данных.

В целом во второй половине XX в. наиболее мощные и продолжительные поступления соленных североморских вод наблюдались в начале 1950-х, во второй половине 1970-х, в конце 1990-х гг. и в 2003 г. В ноябре – декабре 1951 г. произошло самое мощное из известных вторжение каттегатских вод, в результате которого в

Балтику поступило более 200 км<sup>3</sup> воды высокой солёности. В результате солёность глубинных вод Готландской впадины в 1952 г. повысилась на 1,5 %, а температура – на 1 °C [5, 54, 104]. Наиболее значительное снижение солёности во впадинах наблюдалось начале 1960-х и в особенности в начале 1990-х годов.

### **1.8. Содержание растворенного в воде кислорода**

Содержание растворённого в воде кислорода принадлежит к числу важнейших факторов, определяющих гидробиологический режим моря. От концентрации кислорода напрямую зависит выживаемость икры и личинок донных балтийских рыб. В связи с этим, рассмотрим особенности кислородного режима Балтийского моря и его межгодовую изменчивость.

Снабжение кислородом двух главных водных масс Балтийского моря – поверхностной и глубинной – осуществляется различными источниками. В поверхностном слое моря содержание растворённого кислорода определяется процессами абсорбции кислорода из атмосферы и продуцированием его при фотосинтезе. Поглощение кислорода происходит в результате дыхания организмов и биохимической деструкции органических веществ.

В глубинный слой по причине затруднённости вертикального водообмена поступление кислорода с поверхности ограничено. Здесь основным источником аэрации является адвекция североморских вод через Датские проливы. Функционирование этого источника постоянно, но мощность поступлений и степень аэрации различных зон глубинного слоя неравномерны. В периоды ослабленного притока североморских вод кислород у дна может полностью исчезать, что приводит к смене комплекса окислительно-восстановительных, физико-химических и биохимических процессов, в результате чего в придонных горизонтах глубоководных впадин становится возможным появление сероводорода [5, 34, 77, 82].

Наблюдения за кислородным режимом Балтийского моря начались ещё в первом десятилетии XX в. Большой массив накопленных данных и ранние обобщения позволили уже к 1960-ым годам говорить о кислородном режиме моря как об одном из самых изученных гидрохимических процессов.

Годовой ход концентрации кислорода вблизи поверхности в районах Арконской, Борнхольмской и Готландской впадин иллюстрируют графики, построенные на основе наблюдений с 1902 по 1973 г., представленные на рис. 1.25. Видно, что в целом амплитуда колебаний содержания кислорода в годовом ходе существенно увеличивается по мере приближения к зоне Датских проливов.

В зимний период верхний квазиоднородный слой недонасыщен кислородом и его содержание регулируется обменом с атмосферой, зависящим от интенсивности ветро-волнового перемешивания и температуры воды. Распределение концентраций кислорода по вертикали в этот период характеризуется относительной однородностью по причине развития осеннее – зимней конвекции.

Ранней весной наблюдается возрастание концентраций кислорода в связи с возросшей интенсивностью фотосинтеза. В период развития фитопланктона содержание кислорода достигает внутригодового максимума и значительного перенасыщения. Существенное увеличение концентрации растворённого кислорода наблюдается не только на поверхности, но и в большинстве районов моря на глубинах не менее 50 м. Так, согласно многолетним данным, в Борнхольмской впадине на глубине 60 м в январе содержание кислорода, как правило, не превышает 4 мг/л, а в мае может достигать 6,5 мг/л. (см. рисунок 1.25 б).

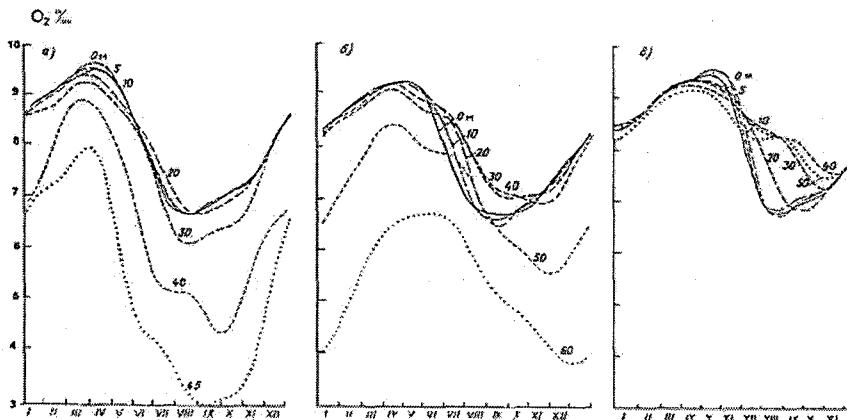


Рис. 1.25. Внутригодовая изменчивость содержания растворенного кислорода на стандартных горизонтах в Арконской (а), Борнхольмской (б) и Готландской (в) впадинах [54].

В летний период начинают истощаться запасы биогенных элементов, что приводит к уменьшению фотосинтетической активности, повышенная температура воды уменьшает растворимость кислорода, возрастает роль биохимической деструкции. Эти факторы приводят к снижению концентрации кислорода на глубинах более 30 м. Однако вблизи поверхности, в фотическом слое, преобладающая роль продуцирования кислорода по сравнению с его затратами на биохимическое окисление органических веществ сохраняется и насыщение кислородом может превышать 100 %. Тем не менее абсолютные значения концентраций кислорода также уменьшаются.

В конце лета – начале осени наблюдается внутригодовой минимум содержания растворенного кислорода, совпадающий с максимальными значениями температуры.

Осенью, по мере охлаждения воды и сокращения светового дня, интенсивность фотосинтеза и продуцирования кислорода значительно снижается. В этот период главным его источником становится абсорбция из атмосферы. К октябрю концентрация кислорода в слое от поверхности до 20 м начинает повсеместно возрастать в связи с увеличением его растворимости по мере охлаждения воды.

Для содержания растворённого кислорода в глубинных и придонных горизонтах Балтийского моря свойственна значительная межгодовая изменчивость определяемая вторжениями североморских вод. Количество поступающего кислорода непостоянно и зависит от объёма вторгающихся водных масс, их солёности, времени года и географического положения района – его удалённости от зоны проливов.

Многолетние изменения средних годовых значений концентраций кислорода в придонном слое основных бассейнов Балтийского моря представлены на рисунках 1.26, 1.27. Данные за период с 1946 – 1953 по 1979 г. взяты из монографии А.Е. Антонова [5], с 1980 по 2000 г. и с 2001 по 2003 г. получены из материалов Атлантического НИРО [32, 33].

В Борнхольмской впадине, на глубине 80 м, как видно из рис. 1.26, содержание растворённого кислорода подвержено весьма значительной межгодовой и многолетней изменчивости. Высокие значения концентраций кислорода (более 3,5 мг/л) наблюдались в середине 1952, 1960, 1976, 1993 и в 2003 гг. Минимальные значения (менее 0,3 мг/л), когда кислород практически отсутствовал, отмеча-

лись в 1970, 1988 и 1999 гг. Периоды снижения концентраций кислорода здесь не продолжительны и, как правило, они не сопровождаются появлением сероводорода. В целом за рассматриваемый период нельзя выделить какой-либо устойчивой тенденции. Тем не менее, проанализировав представленные данные, можно выделить период с 1969 по 1981 г., в течение которого наиболее часто наблюдались концентрации кислорода, значительно превышающие норму.



Рис. 1.26. Многолетняя динамика средних годовых значений содержания растворенного кислорода в придонном слое Борнхольмской и Гданьской впадин.



Рис. 1.27. Многолетняя динамика средних годовых значений содержания растворенного кислорода в придонном и промежуточном слоях Готландской впадины.

В Гданьской впадине, на глубине 100 м, также наблюдаются выраженные колебания концентраций кислорода. Выделяются три основных этапа возрастания содержания растворённого кислорода до уровня, превышающего 3,5 мг/л. Это, во-первых, период с 1946 по 1948 г., а также 1976 и 1993 гг. Минимальные значения средней годовой концентрации кислорода (менее 0,5 мг/л) были характерны для 1970, 1982 г. и для периода с 1998 по 2001 гг. В целом с со второй половины 1940-х годов по 1970 г. наблюдалась тенденция к снижению аэрирования придонного горизонта, с 1988 по 1994 г. имела место кратковременная тенденция к росту содержания кислорода, однако уже в конце 1990-х годов концентрация кислорода резко сократилась, а в 2001 г. было достигнуто минимальное её значение за весь рассматриваемый период – 0,2 мг/л. Тем не менее, полного отсутствия кислорода, применительно к средним годовым значениям, не наблюдалось.

В Готландской впадине, на глубине 240 м, амплитуда колебаний растворенного кислорода минимальна и за рассматриваемый период не превосходит 3 м/л. Межгодовая изменчивость также характерна, можно выделить два периода относительно высокого содержания кислорода и два периода с его полным отсутствием.

С начала до середины 1950-х годов концентрация растворённого кислорода не снижалась ниже нулевой отметки и колебалась около значений 1,5 – 2 мг/л. С 1956 г. содержание кислорода стало резко уменьшаться, и наступил первый период его полного отсутствия, сопровождавшийся появлением сероводорода (отрицательные значения на рисунке 1.27 соответствуют концентрациям сероводорода). Значительная концентрация сероводорода была зарегистрирована в 1961 году – 1,2 мг/л. Но уже в 1962 г. восстановительные условия сменяются окислительными, и содержание кислорода вновь достигло уровня 2 мг/л. В дальнейшем, на протяжении 15 лет, концентрация кислорода в придонном горизонте колебалась в довольно значительных пределах, оставаясь в среднем выше нулевой отметки. Так, в 1969 г. содержание сероводорода превысило 2 мг/л, но уже на следующий год появляется свободный кислород в концентрации около 2 мг/л. К 1978 г. период относительно высокого содержания кислорода завершился и наступил второй, более продолжительный период его полного отсутствия, сопровождающийся устойчивой тенденцией к увеличению концентраций сероводорода.

Максимальная концентрация сероводорода была достигнута в 1988 г. и составила 4,8 мг/л. Ясно, что в таких условиях существование высокоорганизованной жизни невозможно. До 1993 г в Готландской впадине содержание сероводорода оставалось экстремально высоким и колебалось от 3 до 4 мг/л. Но в 1993 г. произошла быстрая смена восстановительных условий на окислительные, а в 1994 г. концентрация кислорода достигла абсолютного максимума за весь рассматриваемый период и составила 2,6 мг/л. Однако в последующие 8 лет, снова наблюдалось снижение аэрирования придонных горизонтов, вплоть до полного исчезновения свободного кислорода, и только в 2003 году его концентрация вновь повысилась до 2 мг/л.

В северо-западной части моря, кислородный режим в значительной мере определяется влиянием притоков, минующих придонные горизонты расположенных южнее впадин и распространяющихся по слою от 70 до 100 м. Роль этого фактора отражает динамика концентраций кислорода у дна в Ландсортской – наиболее глубоководной впадине. Несмотря на большую глубину (459 м), анаэробные условия развиваются здесь реже и на менее продолжительный срок, чем в Готландской впадине. Фактором лучшего обеспечения кислородом придонного слоя здесь является также хорошее вертикальное перемешивание – ниже 100 м и до дна наблюдается однородный по плотности слой [54]. Наибольшие значения содержания растворенного кислорода в придонном горизонте Ландсортской впадины были отмечены с 1954 по 1956 г. (1,5 мг/л), а также в 1977 и 1978 г. (от 1,0 до 1,2 мг/л). Минимальные значения (не более 0,5 мг/л) были характерны для периода с 1967 по 1976 г., а также для первой половины 1980-х годов. Появление сероводорода было зарегистрировано в 1970, 1974 и 1983 гг., но его концентрации не превышали 1 мг/л.

Таким образом, во второй половине XX в. наибольшие концентрации растворённого кислорода в придонных горизонтах основных глубоководных впадин Балтийского моря отмечались в первой половине 1950-ых, во второй половине 1970-х годов, а также в 1993 и 2003 гг. Периоды неблагоприятных кислородных условий, вплоть до образования сероводорода, были характерны для начала 1960-х, и в особенности для второй половины 1980-х и начала 1990-х годов.

В целом к 1993 г. завершился наиболее продолжительный период отсутствия сильных затоков североморских водных масс в

Балтику. В 1993 г. был зафиксирован значительный рост значений солёности в Борнхольмской впадине, а в 1994 г. существенно повысилась солёность в Гданьской и Готландской впадинах. После 1997 г. во всех глубоководных впадинах было отмечено значительное возрастание теплозапаса глубинных вод, за счёт адвекции тёплых вод из Северного моря в сентябре 1997 г. В 2001 и 2002 гг. наблюдались затоки меньшей интенсивности, но также в осенний период, что сопровождалось некоторым увеличением температуры воды в Южной Балтике. В конце 2002 – начале 2003 г. температура воды в придонных слоях Борнхольмской, Гданьской и Готландской впадин достигла наиболее высоких значений за весь период наблюдений. Кислородный режим в южной и центральной части Балтийского моря со второй половины 1980-х по конец 1990-х годов, несмотря на кратковременные периоды улучшения ситуации, может характеризоваться как крайне неблагоприятный для существования донной фауны. Площадь акватории Балтики, занятая водами с содержанием сероводорода в 1999 – 2000 гг., была наибольшей за предшествующие 16 лет. В 2003 г. наблюдалось значительное улучшение абиотических условий существования организмов в глубинных и придонных горизонтах за счёт интенсивного и продолжительного зимнего затока североморских вод, который привёл к увеличению солености и концентрации кислорода. Однако при этом наблюдалось снижение значений температуры воды, в наибольшей степени свойственное для Борнхольмской впадины. Объем втока по различным оценкам составил около  $100 \text{ км}^3$ , что сравнимо с объёмами самых интенсивных затоков, причем половина вторгшихся частично трансформированных вод была с солёностью более 17 ‰ [33].

Рассмотрим более подробно особенности зимнего затока 2003 г. и те последствия, которые он вызвал. Отличительными особенностями данной адвекции от кратковременного осеннего затока 2002 г. явились высокая соленость, низкая температура поступающих вод и очень высокая концентрация растворённого в воде кислорода. В Арконской впадине в январе температура понизилась до  $1,5^\circ\text{C}$ , солёность превзошла 20 ‰, а содержание кислорода было выше 7 мг/л. В Борнхольмской впадине в феврале по сравнению с январём, солёность возросла на 2,5 – 3,0 ‰ и достигла значения 18,5 ‰, температура понизилась на  $6,5^\circ\text{C}$ , а концентрация кислорода в придонном горизонте резко возросла до 7,5 мл/л [33]. Центральной час-

ти Балтийского моря воды затока достигли только в конце весны. В мае – июне в Гданьской впадине значения солености по сравнению с февральскими возросли на более чем на 2 % и достигли уровня 13,55 %, а глубина залегания изогалины 10 % составляла 63 м, что явилось абсолютным максимумом после 1986 г. В центральных районах Готландской впадины, в слое от 200 до 230 м, рост солёности был менее заметным, её значения возросли не более чем на 0,5 % по сравнению с октябрём 2002 г. Однако и здесь наблюдалось значительное улучшение кислородного режима. В начале лета 2003 г. концентрация кислорода в придонном слое превысила 3,5 мг/л. Столь высокие концентрации в слоях глубже 200 м в Готландской впадине наблюдались ранее только дважды – в 1930 г. и в мае 1994 г. [77,89]. После периода теплой осенней адвекции 1997 г. в мае – июне 2003 г. было обнаружено снижение теплозапаса глубинных вод до уровня который уступает среднему многолетнему на 1,0 – 1,2 °C. В Гданьской впадине в начале лета температура воды в слое от 80 до 100 м составила только 4,3 °C, тогда как в феврале она достигала 9,0° C. В центре Готландской впадины в слое от 200 до 230 м в середине июня 2003 г. температура составляла 4,6 °C, тогда как в октябре 2002 г. ее значения достигали 6,5 °C.

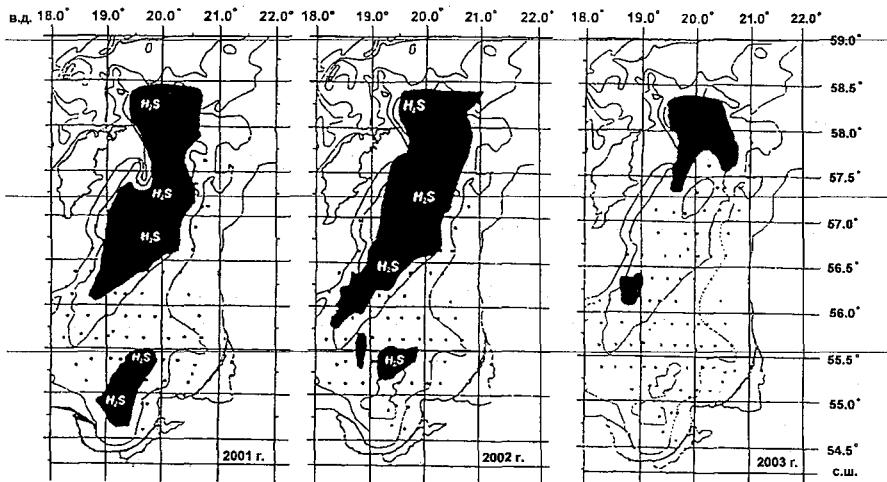


Рис. 1.28. Районы Балтийского моря с содержанием растворённого кислорода в придонном слое менее 1,0 мг/л в октябре 2001, 2002, 2003 гг. [33]

Северной границей распространения трансформированных североморских вод в 2003 г. явился район впадины Форе, где уменьшение температуры в придонном горизонте было отмечено в июле, а исчезновение сероводорода – в первой половине ноября [33]. В Ландсортской впадине и во впадине Карлсё заметного снижения температуры воды в придонных горизонтах не наблюдалось, и к концу 2003 г. в слоях глубже 80 м сохранялись зоны с дефицитом или отсутствием кислорода [33,104].

Изменения газового режима в глубинных слоях моря, наступившие в результате адвекции 2003 г. показаны на рис. 1.28. Видно, что в 2003 г. по сравнению с 2001 г. площадь районов с содержанием сероводорода сократилась почти в 3 раза.

Итак, достаточно редкие, но интенсивные зимние затоки, несущие холодные и плотные водные массы, приводят к эффективной аэрации и росту солености на значительной площади моря, включающей не только южные, но и центральные, а также некоторые восточные районы. Более частые осенние затоки сопровождаются в основном возрастанием температуры воды и солености в южных районах и в меньшей степени влияют на океанологические и экологические условия в Центральной и Восточной Балтике.

### **1.9. Обобщённая характеристика колебаний климата и океанологических условий**

В предшествующих разделах была проанализирована многолетняя изменчивость показателей климата и океанологических условий в регионе Балтийского моря. В дальнейшем, исходя из главной цели настоящей работы, представляется естественным установить и охарактеризовать причинно-следственные связи между различными климатическими, океанологическими и гидрологическими характеристиками, а также оценить влияние крупномасштабных гидрометеорологических процессов на динамику значений конкретных экологических факторов среды. Очевидно, что особое внимание необходимо уделить анализу связи между интенсивностью атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и океанологическими условиями в Балтийском море, а также выявлению особенностей механизма поступления североморских вод в Балтику.

Таблица 1.6

**Коэффициенты корреляции между значениями индексов  
Северо-Атлантического колебания и температурой воздуха и воды  
в регионе Балтийского моря**

Температура воз- духа и воды	Времен- ной сдвиг относи- тельно значений индексов NAO, гг.	Варианты индексов NAO				
		NAO <sub>1</sub>	NAO <sub>2</sub>	NAO <sub>3</sub>	NAO <sub>4</sub>	NAO <sub>6</sub>
$T^{\circ}\text{C}$ воздуха в Копенгагене	0	0,431**	0,481**	0,421**	0,412**	0,456**
	1	0,134	0,112	0,186	0,103	0,196
	2	0,025	-0,013	0,036	0,068	0,034
$T^{\circ}\text{C}$ воздуха в Висбю	0	0,485**	0,526**	0,473**	0,454**	0,494**
	1	0,152	0,108	0,132	0,126	0,214
	2	0,038	0,007	0,084	0,071	0,092
$T^{\circ}\text{C}$ воздуха в Стокгольме	0	0,562**	0,514**	0,521**	0,442**	0,471**
	1	0,354*	0,145	0,352*	0,154	0,255
	2	0,022	0,078	-0,063	0,068	0,086
$T^{\circ}\text{C}$ воздуха в Хельсинки	0	0,443**	0,491**	0,434**	0,425**	0,454**
	1	0,162	0,151	0,132	0,121	0,223
	2	0,021	0,067	0,052	0,048	0,072
$T^{\circ}\text{C}$ воздуха в Балтийске	0	0,585**	0,68**	0,566**	0,553**	0,625**
	1	0,337*	0,241	0,331*	0,316*	0,327*
	2	0,024	-0,013	0,031	0,076	0,035
$T^{\circ}\text{C}$ воды в Борнхольмской впадине в слое от 40 до 60 м	0	0,332*	0,244	0,311*	0,282	0,321*
	1	-0,013	-0,051	-0,017	0,065	0,021
	2	0,222	0,265	0,254	0,271	0,285
	3	0,041	-0,042	-0,048	-0,034	-0,028
$T^{\circ}\text{C}$ воды в Гданьской впади- не в слое от 50 до 80 м	0	0,584**	0,532**	0,554**	0,561**	0,607**
	1	0,471**	0,348*	0,404	0,438**	0,441**
	2	0,153	0,119	0,033	0,202	0,117
	3	0,065	0,081	0,027	0,015	0,012
$T^{\circ}\text{C}$ воды в Готландской впа- дине в слое от 40 до 80 м	0	0,526**	0,433**	0,585**	0,451**	0,532**
	1	0,143	0,092	0,158	0,332	0,131
	2	0,153	0,071	0,188	0,215	0,171
	3	0,112	0,054	0,112	0,095	0,082
$T^{\circ}\text{C}$ воды в Готландской впадине на глубине 240 м	0	-0,213	-0,088	-0,123	-0,132	-0,147
	2	-0,002	0,074	-0,161	-0,098	-0,088
	3	0,266	0,306*	0,071	0,251	0,244
	4	0,381*	0,302*	0,361*	0,381*	0,331*

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком «\*», соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком «\*\*» – 95 %-ному уровню обеспеченности.

В табл. 1.6. представлены коэффициенты корреляции между значениями различных вариантов индекса NAO и значениями средних годовых температур воздуха и воды в различных пунктах Балтийского моря. Проанализировав представленные результаты, можно прийти к следующим выводам. Во-первых, возрастание интенсивности NAO сопровождается значительным повышением температуры воздуха как на западном, так и на восточном побережьях Балтики. Получены значимые при 99 %-ном уровне обеспеченности положительные коэффициенты корреляции между всеми пятью использованными вариантами индексов NAO и температурой воздуха на станциях в Кобенхавне, Висбю, Стокгольме, Балтийске, Лиепае и Хельсинки. Наибольшая теснота связи отмечается между средней годовой температурой воздуха в Висбю (о. Готланд), Балтийске и значениями индексов  $NAO_2$  ( $r = 0.526$ ,  $r = 0.681$  соответственно).

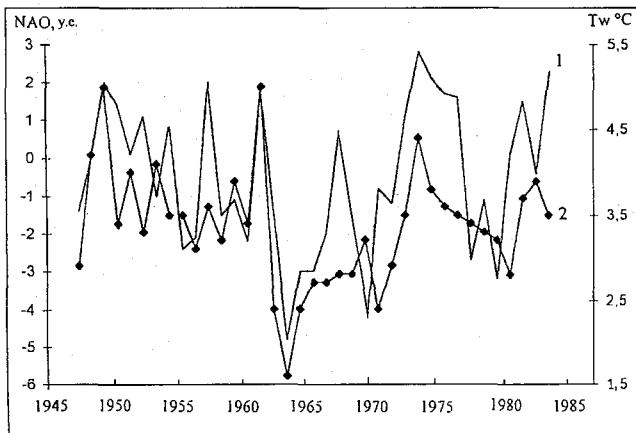


Рис. 1.29. Сравнение многолетней изменчивости индекса  $NAO_{ob}$ . (1) с динамикой температуры воды в промежуточном слое Готландской впадины (2).

Во-вторых, рост значений индексов NAO сопровождается повышением температуры воды в Готландской, Гданьской и Борнхольмской впадинах моря. В промежуточном слое Готландской впадины (от 40 до 80 м) между изменчивостью всех рассматриваемых индексов NAO и температурой воды получены коэффициенты корреляции соответствующие 99 %-ному уровню обеспеченности. При этом наиболее тесная связь обнаруживается с индексом  $NAO_3$ .

( $r = 0,585$ ). Графически характер связи отражён на рисунке 1.29. Динамика температуры в придонном горизонте Готландской впадины также во многом соответствует изменчивости NAO, однако выявленная значимая связь является менее тесной, чем в промежуточном слое, и проявляется при наличии временного сдвига относительно индексов NAO на 3 – 4 года. В Гданьской впадине динамика температуры воды в слое от 50 до 80 м обнаруживает достаточно тесную связь с Северо-Атлантическим колебанием. Максимальный коэффициент корреляции получен с индексом  $NAO_{ob}$ . ( $r = 0,607$  при  $P = 99\%$ ). Характер связи представлен на рис. 1.30. Однако для значений температуры воды в придонном горизонте наличие значимой связи с NAO не выявлено. В Борнхольмской впадине температура воды в промежуточном слое также обнаруживает значимую, но менее тесную связь с Северо-Атлантическим колебанием.

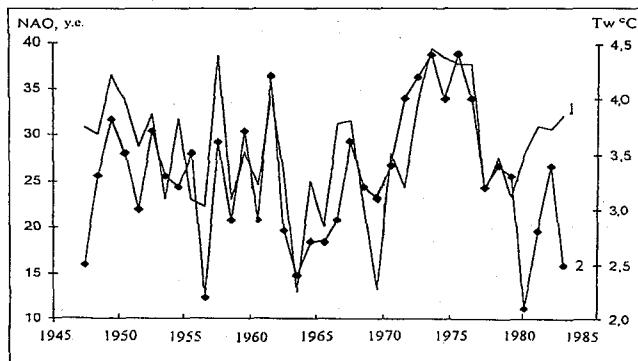


Рис. 1.30. Сравнение многолетней изменчивости индекса  $NAO_3$ (1) с динамикой температуры воды в промежуточном слое Гданьской впадины (2).

Наибольший коэффициент корреляции получен с индексом  $NAO_1$  ( $r = 0,332$  при  $P = 95\%$ ). Для динамики температуры воды в придонном горизонте Борнхольмской впадины наличие значимой связи с индексами NAO не свойственно.

Интересным является также сопоставление многолетней динамики значений индексов NAO с таким важным интегральным показателем колебаний климата, как максимальные площади ледового покрова на море. Соответствующий коэффициент корреляции с индексом  $NAO_{ob}$   $r = -0,54$  при уровне обеспеченности 99 %. Графиче-

ской иллюстрацией выявленной тесной связи является рис. 1.31. Заметен выраженный обратный характер связи, максимальные площади ледового покрова меняются почти строго в противофазе со значениями  $NAO_{об.}$ , что подтверждает важное значение Северо-Атлантического колебания в формировании климата Балтийского региона. С другими вариантами индекса NAO также получены достаточно высокие по абсолютному значению коэффициенты корреляции.

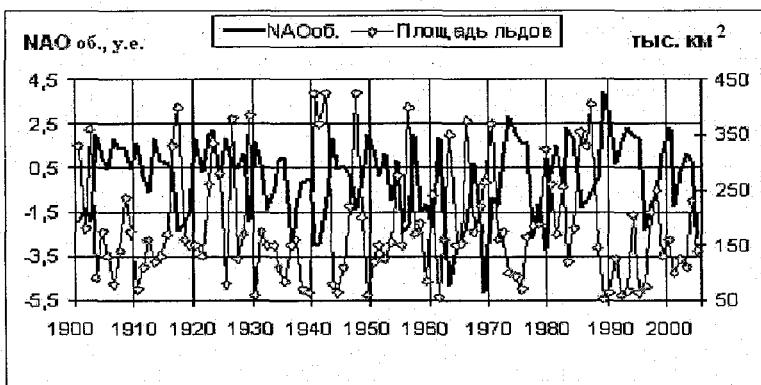


Рис. 1.31. Сравнение многолетней изменчивости индекса  $NAO_{об.}$  со значениями максимальных площадей ледового покрова в Балтийском море.

В табл. 1.7 представлены результаты корреляционного анализа связей между многолетней изменчивостью индекса  $NAO_{об.}$  и параметрами многолетнего речного стока в различные районы Балтийского моря. Названия рек и соответствующих гидрологических постов, данные наблюдений на которых использовались в настоящей работе, следующие: Нева – Новосаратовка, Висла – Тчев, Одра – Гозоловице, Неман – Смалининкай, Даугава – Даугавпилс, Кеми-Йоки – Перноо, Онгерманэльвен – Solleftea, Лулээльвен – Boden Waterworks.

Из результатов анализа представленных в табл. 1.7, можно сделать следующие выводы. Во-первых, не обнаружено значимой связи между Северо-Атлантическим колебанием и динамикой стока крупнейшей по водности реки региона – Невы, суммарным стоком в Финский залив и суммарным речным стоком в Балтийское море. Установлено, что сток Невы находится в тесной корреляционной зависимости с суммарным речным стоком в море ( $r = 0,721$  при

$P = 99,9 \%$ ) и со стоком в Финский залив ( $r = 0,831$  при  $P = 99 \%$ ). Тем не менее, влияние климата на речной сток, в особенности на региональном и глобальном уровнях, является общепризнанным. Для объяснения этого парадокса, очевидно, потребуется выполнить дополнительные расчёты по оценке тесноты связи NAO и стока крупнейших рек бассейна Балтики, репрезентативных для конкретных районов водосбора, и сравнить полученные результаты.

Таблица 1.7

Коэффициенты корреляции между значениями индекса NAO<sub>об</sub>.  
и параметрами речного стока в различные районы Балтийского моря

Параметр стока	Временной сдвиг значений стока относительно NAO <sub>об</sub> , гг.	NAO <sub>об</sub> .	Параметр стока	Временной сдвиг значений стока относительно NAO <sub>об</sub> , гг.	NAO <sub>об</sub> .
Средний годовой сток р. Невы	0	0,155	Средний годовой сток р. Луле-Эльвен	0	0,501*
	1	-0,012		1	0,045
	2	0,008		2	-0,171
Средний за весну сток р. Вислы	0	-0,333**	Средний за осень сток р. Кеми-Йоки	0	0,078
	1	-0,123		1	0,171
	2	-0,103		2	0,254*
Средний за весну сток р. Одры	0	-0,358**	Суммарный сток в залив Ботнический	0	0,362*
	1	-0,168		1	0,131
	2	-0,011		2	0,078
Средний годовой сток р. Неман	0	0,244*	Суммарный сток в Финский залив	0	0,052
	1	0,104		1	-0,072
	2	0,025		2	0,001
Средний годовой сток р. Даугавы	0	0,441**	Суммарный сток в Рижский залив	0	0,336*
	1	0,438**		1	0,035
	2	0,421**		2	-0,131
Средний годовой сток р. Онгерманэльвен	0	0,527*	Суммарный годовой сток в Балтийское море	0	0,124
	1	0,241		1	-0,032
	2	0,019		2	-0,006
	3	-0,161		3	0,112

Примечание. Коэффициенты корреляции, выделенные знаком «\*\*», соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком «\*\*» – 95 %-ному уровню обеспеченности.

Анализ тесноты связи между стоком второй и третьей по водности рек региона – Вислы и Одры, впадающих в море с южной части водосборного бассейна, и  $NAO_{об}$ , показал, что существует статистически значимая зависимость среднего за весну стока данных рек от интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой (соответственно  $r = -0,333$  и  $r = -0,358$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг отсутствует). Значимая связь между стоком Вислы и Одры в другие сезоны года, а также их средним годовым стоком и индексом  $NAO_{об}$  отсутствует. Проявление связи между индексом Северо-Атлантического колебания, который рассчитан на основе данных в среднем за зимний период и средним за весну стоком южных рек, может быть объяснено тем, что весенние расходы этих рек во многом определяются количеством осадков в твердой фазе, накапливающихся в пределах их водосборов зимой.

Сток рек впадающих в Балтийское море с северной части водосбора, также демонстрирует достаточно тесную связь с Северо-Атлантическим колебанием. Однако здесь данная закономерность носит характер противоположный тому, который свойственен для рек, впадающих с южной части водосбора. Значимая и достаточно тесная связь между интенсивностью атмосферной циркуляции и средним годовым стоком рек Швеции, таких как Онгерманэльвен, Лулеэльвен, проявляется при отсутствии временного сдвига (соответственно  $r = 0,527$ ,  $r = 0,501$  при  $P = 95\%$ ). Для реки Кеми-Йоки, впадающей в Балтику в самой северной части побережья Ботнического залива, характерно наличие положительной связи стока с  $NAO_{об}$  только для осеннего периода, причём значимый коэффициент корреляции получен только при наличии временного сдвига стока относительно циркуляции атмосферы на 2 года, что может быть объяснено значительной озёрностью бассейна данной реки. Суммарный средний годовой сток в Ботнический залив также демонстрирует наличие значимой связи с Северо-Атлантическим колебанием положительного характера ( $r = 0,362$  при  $P = 95\%$ , временной сдвиг отсутствует).

Иллюстрацией некоторых выявленных особенностей зависимости стока рек, впадающих в различные районы Балтийского моря, от интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой является рис. 1.32.

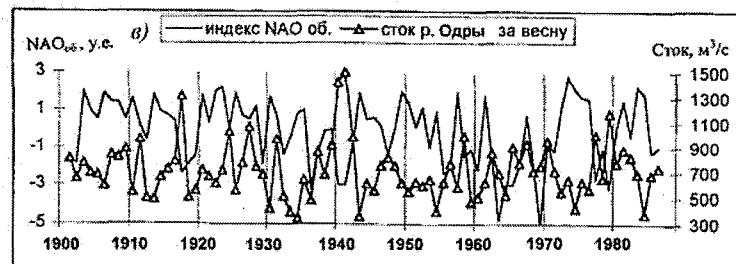
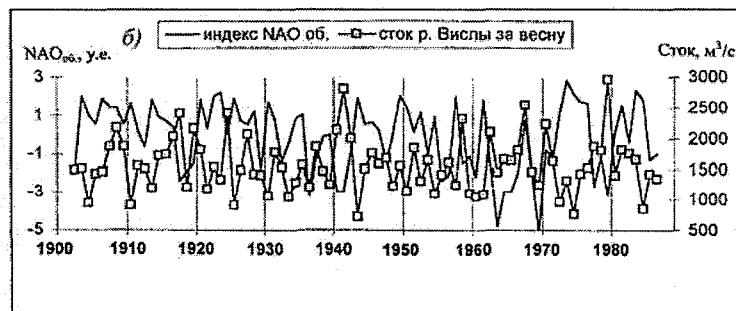
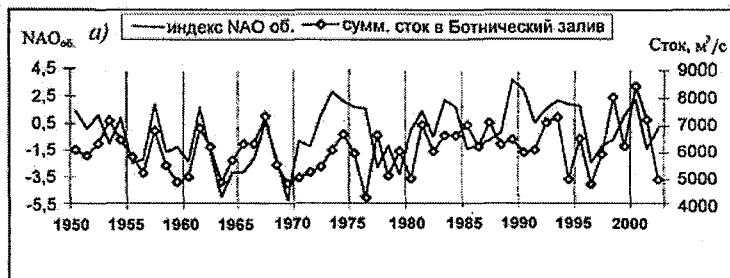


Рис. 1.32. Сравнение многолетней изменчивости индекса NAO<sub>об.</sub> с суммарным стоком в Ботнический залив (а), динамикой речного стока р. Висла (б) и р. Одра (в).

Таким образом, мы видим, что с возрастанием интенсивности Северо-Атлантического колебания увеличиваются расходы рек, впадающих в море с северных и юго-восточных районов водосбора, в то время как крупные реки, впадающие с юга, снижают свои расходы. Именно различным характером зависимости стока примени-

тельно к конкретным районам водосбора от интенсивности атмосферной циркуляции может быть объяснено отсутствие значимой связи между индексом  $NAO_{об.}$  и суммарным стоком в Балтийское море и стоком р. Невы, который демонстрирует весьма тесную связь с суммарным стоком.

Таблица 1.8  
Коэффициенты корреляции между значениями индекса  $NAO_{об.}$   
и динамикой уровня моря в различных районах Балтики.

Средний годовой уровень моря на постах	Временной сдвиг относительно $NAO_{об.}$ , гг.	$NAO_{об.}$	Разность уровней за осень на постах	Временной сдвиг относительно $NAO_{об.}$ , гг.	$NAO_{об.}$
Эсбьерг	0	0,302*	Владиславово и Эсбьерг	0	0,071
	1	0,161		1	0,102
Смоген	0	0,223*	Владиславово и Гедсер	0	0,205
	1	0,081		1	0,038
Гедсер	0	0,231*	Владиславово и Смоген	0	-0,042
	1	0,011		1	-0,091
Кобенхавн	0	0,421**	Смоген и Гедсер	0	-0,303*
	1	0,112		1	-0,186
Кунгхольмсфорп	0	0,512**		2	-0,381**
	1	0,188		0	-0,157
Владиславово	0	0,411**	Смоген и Кобенхавн	1	-0,115
	1	0,072		2	-0,301*
Стокгольм	0	0,183	Смоген и Стокгольм	3	-0,321*
	1	0,126		0	0,125
Кронштадт	0	0,471**		1	0,114
	1	0,238		2	0,068

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком “\*\*”, соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком “\*” – 95 %-ному уровню обеспеченности.

Проанализируем далее степень и характер связей между Северо-Атлантическим колебанием и динамикой уровня моря в различных районах Балтики, а также параметрами водообмена с Северным морем. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 1.8. Как видно из данной таблицы, многолетняя динамика уровня моря на большинстве используемых постах наблюдений демонстрирует наличие значимой связи с  $NAO_{об.}$  при отсутствии временного сдвига. Наибольшая степень тесноты связи с интенсивностью атмосферной циркуляции ( $r = 0,512$  при  $P = 99\%$ ) характерна для

уровня моря на посту Кунгхолмсфорт (Kungholmsfort), который расположен на южном побережье Швеции. Графически характер связи между обобщённым индексом Северо-Атлантического колебания и динамикой уровня моря на постах Кунгхолмсфорт и в Кронштадте представлена на рисунке 1.33. Уровень моря на посту Кобенхавн, который расположен в зоне Датских проливов, также демонстрирует наличие связи с NAO<sub>об</sub>, при высоком уровне обеспеченности ( $r = 0,421$  при  $P = 99\%$ ). Наименьшая значимая теснота связи с интенсивностью атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой характерна для уровня моря на посту Смоген, который расположен в северо-восточной части пролива Каттегат ( $r = 0,223$  при  $P = 95\%$ ). С уровнем моря в Стокгольме значимая связь отсутствует.

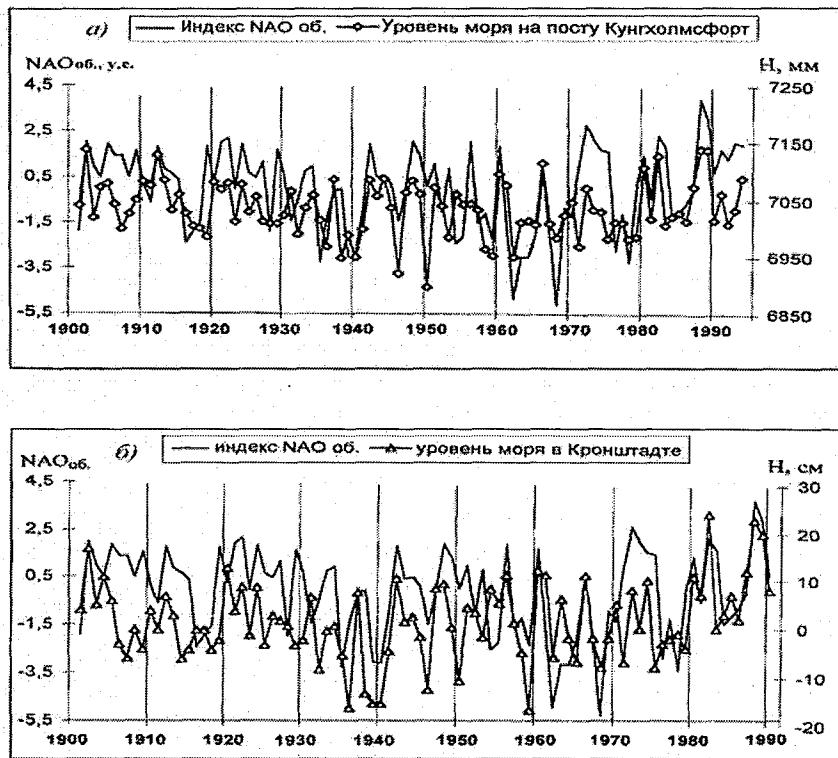


Рис. 1.33. Сравнение многолетней изменчивости индекса NAO<sub>об</sub> с динамикой средних годовых значений уровня моря на постах Кунгхолмсфорт (а) и в Кронштадте (б).

В целом рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северно-Атлантическим регионом приводит к незначительному ( $r = 0,302$  при  $P = 95\%$ ) подъёму уровня моря у побережья западной Дании на посту Эсбьерг. В северо-восточной части пролива Каттегат, на посту Смоген, теснота связи с NAO ещё ниже. В связи с этим, нельзя ожидать значительного поступления водных масс из Северного моря в Балтийское и возрастания уровня в собственно Балтийском море за счёт горизонтальной адвекции. Однако уровень моря на постах Кобенхавн и Кунгхольмсфорта, расположенных вблизи побережья Южной Швеции, демонстрирует достаточно высокую зависимость от Северо-Атлантического колебания. Можно попытаться объяснить эту ситуацию следующим образом. Выше было показано, что возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой приводит к значительному увеличению расходов рек Швеции, а также суммарного объёма речного стока со Скандинавского полуострова в Балтику. Как известно, в силу циклонического характера циркуляции поверхностных вод в Балтийском море водные массы, формирующиеся в Ботническом заливе, а также в западных районах центральной части моря у побережья Швеции, распространяются в дальнейшем в юго-западном направлении, следуя преимущественно через пролив севернее о. Борнхольм и далее через пролив Эресунн (Зунд) между Данией и Швецией. Таким образом, при значительном возрастании расходов рек со Скандинавского полуострова в связи с развитием циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой, именно у побережья южной Швеции перед подходом к зоне мелководных и узких Датских проливов, как к значительному препятствию на пути дальнейшего следования трансформированных речных водных масс по направлению к Северному морю, должно происходить существенное возрастание уровня, что и наблюдается на постах Кунгхольмсфорта и Кобенхавна в периоды роста значений индексов NAO. Средний годовой уровень на посту Владиславово, который расположен на побережье Польши всего на  $2^{\circ}55'$  в.д. восточнее шведского поста Кунгхольмсфорта, также демонстрирует тенденции к возрастанию на фоне роста значений NAO об. ( $r = 0,411$  при  $P = 99\%$ ), однако в несколько меньшей степени, чем это свойственно для постов расположенных на побережье Южной Швеции, что также во многом может быть объяснено влиянием речного стока со Скандинавского полуострова на фоне сниже-

ния расходов южных рек при росте интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой. Средний за зиму уровень на посту Владиславово имеет более высокую тесноту связи с НАОоб. ( $r = 0,463$  при  $P = 99 \%$ ), чем средний годовой уровень. Причиной этого может являться усиление северо-западных ветров в зимние месяцы и возрастание интенсивности штормовых нагонов. Наличие достаточно тесной связи между Северо-Атлантическим колебанием и уровнем моря в Кронштадте, учитывая отсутствие значимой связи между НАО и стоком р. Невы и суммарным стоком в Финский залив, можно объяснить исходя из предположения о преобладающем воздействии на уровень моря в восточной части Финского залива циклонической деятельности и соответствующих волновых нагонов водных масс из более западных районов. Однако роль стока р. Невы оказалась также достаточно велика — коэффициент корреляции между средним годовым уровнем в Кронштадте  $r = 0,451$  при  $P = 99 \%$ . Таким образом, уровень моря в Кронштадте зависит от совместного влияния стока р. Невы и нагонов с запада при прохождении над Финским заливом циклонов. Учитывая важность проблемы колебаний уровня в Невской губе с точки зрения возникновения наводнений, угрожающих Санкт-Петербургу, рассмотрим этот вопрос подробнее, несколько отклонившись от основной цели нашего исследования.

Необходимость замера уровня моря возникла очень давно. За нуль принимали уровень моря относительно суши за длительный период наблюдений. По Амстердамскому футштоку вычисляются высоты и глубины Западной Европы. По Марсельскому футштоку ведут замер уровня Средиземного моря. В России «футшточную службу» организовал Пётр I. Первый футшток появился в Петербурге в 1703 г. а в 1707 г. — появилась футшточная служба в Кронштадте. Замеры уровня моря были важны для молодого российского флота, от уровня моря зависело плавание по мелководью Финского залива и устью Невы, а также строительство оборонительных сооружений на островах и в береговой зоне.

В 1825 – 1839 гг. русский гидрограф М. Ф. Рейнеке вывел средний уровень моря для нескольких мест Финского залива и заметил, что нули футштоков в этих точках располагались выше среднего уровня. Он предложил совместить средний уровень моря с нулями футштоков. В 1840 г. на гранитной плите были выбиты го-

ризонтальные метки. Это нововведение позволяло производить наблюдения за уровнем моря от одной нулевой отметки. Для контроля положения нуля футштока используют специальные реперы — метки на твердой поверхности суши. Основной репер Кронштадтского футштока — горизонтальная выщечка буквы «П» в слове «Польза» на памятнике П. К. Пахтусову. Превышения репера над нулем футштока, по замерам в течение десятилетий, подтвердили устойчивость метки Рейнеке 1840 г. На материке, в Ораниенбауме, также находится специальная метка. Она расположена на здании железнодорожной станции «Ораниенбаум», и с ней также, периодически, проводятся нивелировки. Результаты нивелировок, проводящиеся с 1880 г., показывают практическую неизменность высотного положения нуля Кронштадтского футштока.

В 1871 – 1904 гг. астроном В. Е. Фус из астрономической обсерватории в Кронштадте осуществил нивелирную связь нуля Кронштадтского футштока с отметками на материке. В. Е. Фусу принадлежит большая заслуга в решении вопроса об основном нуле высот России. В 1886 году астроном-геодезист Ф. Ф. Витрам на месте нулевой метки вмонтировал в камень медную пластину с горизонтальной чертой, которая и представляет нуль Кронштадтского футштока. В 1898 г. в деревянной будке был установлен мареограф — прибор, постоянно регистрирующий уровень воды в колодце относительно нуля футштока. Чуть позже мареограф перенесли в небольшой павильон с глубоким колодцем. Самописец мареографа беспристрастно фиксирует колебания моря, отмечая и отливы, и наводнения. В 1913 г. заведующий инструментальной камерой Кронштадтского порта Х. Ф. Тонберг установил новую пластину с горизонтальной чертой, которая и служит до настоящего времени исходным пунктом всей нивелирной сети России. От нуля Кронштадтского футштока на всей территории России производятся измерения глубин и высот. Географические карты равняются на Кронштадтскую точку отсчета. Даже космические орбиты ведут отсчет от небольшой черты на медной табличке, прикрепленной к устою Синего моста через Обводный канал в Кронштадте.

Высота подъема воды в Неве определяется двумя способами. Первый способ: уровень воды в Неве определяется измерением высоты воды относительно нуля Кронштадтского футштока. Кронштадтский футшток соответствует среднему уровню воды Балтий-

ского моря у Кронштадта. Наводнением в Петербурге считается подъем воды выше 160 см над нулем Кронштадтского футштока согласно традиции последних 20 лет. Второй способ: измерение высоты воды относительно нуля ординара Невы. Ординар Невы соответствует среднему уровню воды в реке у Горного института и выше меженного нуля устья Фонтанки на 11 см.

Колебания уровня воды в районе Кронштадта – очень частое явление. Прогуливаясь вдоль набережных, в течение практически любого дня можно заметить более или менее значительные колебания уровня воды. Однако наводнением считается только подъем воды до уровня не менее чем на 1,5 м выше отметки Кронштадтского футштока. Наводнения случаются почти ежегодно, причем могут происходить по нескольку раз в год, обычно в осенний период. Однако зимние наводнения, особенно если зима выдалась довольно мягкой и Финский залив не скован льдом – не редкость. Так 3 февраля 2008 г. наблюдалось 306-е за всё время наблюдений за уровнем в Кронштадте наводнение, вода поднялась на 190 см.

По свидетельству шведских летописей, с самых незапамятных времен, почти все пространство земли, занимаемое ныне Санкт-Петербургом, часто подвергалось сильным наводнениям. В период с 1060 по 1066 г. наблюдалось очень крупное наводнение, была затоплена почти вся нынешняя территория города вместе с прибрежными районами и пригородами, вода поднялась примерно на 6 м.

В 1691 г., незадолго до основания Санкт-Петербурга, также произошло катастрофическое наводнение, полностью затопившее шведскую крепость Ниеншанц, которая располагалась в районе впадения р. Охты в Неву. По приблизительным оценкам, подъем уровня в тот момент составлял около 4,5 м [37].

С момента возникновения города все случаи наводнений стали строго фиксироваться. Например, наводнение 1706 года, о котором есть сведения в письме Петра I к Меньшикову: «Третьего дня ветром вест-зюйд такую воду нагнало, какой, сказывают, не бывало. У меня в хоромах было воды сверху пола 21 дюйм (0,5 метров), и по городу на другой стороне по улице свободно ездили на лодках. Однако ж не долго держалась: менее трех часов...».

Понимая опасность наводнений для города-столицы, многие архитекторы Петра Великого, среди которых Леблон и Трезини, при самом основании города задумали весь Васильевский остров и

Петербургскую сторону поднять на 3,2 м. Сам Петр предполагал компенсировать последствия наводнений для Васильевского острова путём строительства через его территорию сети каналов, как в Венеции, соответствующих расположению современных улиц-линий. Эти каналы могли служить, конечно, и хорошими транспортными путями для перевозки грузов и товаров, что развивало бы торговлю. Но ни один из этих проектов не был осуществлен.

В 1713 г. в Санкт-Петербурге сильное наводнение – два раза все острова в дельте Невы полностью затопляло. В начале ноября 1715 г. вода возвысилась на 2,2 м. Береговые военные укрепления размыты и сильно повреждены. Жители по улицам передвигались на лодках.

В 1721 г. Нева затопила почти весь город, на фоне сильного западного ветра, который отмечался в течение девяти дней. В октябре 1723 г. года повторилось в точности предыдущее наводнение 1721 г. с той лишь разницей, что вода в городе была выше на 0,09 м., чем в предыдущее наводнение. В ноябре 1726 г. вода снова возвышалась на 2,5 м выше футштока. Когда же вода сошла, на Неве образовался новый остров, который от пустынности назван Буяном, на нем вскоре были построены пеньковые и масляные амбары. После этого наводнения Екатерина I издала указ: «Для опасности от такой же воды, всякое строение строить впредь, кому где надлежит строить, выше нынешней бывшей воды на фут (0,3 м), и для того везде на строениях поставить знаки».

12 октября 1729 г. опять было наводнение. Уровень воды в Неве поднялся на 2,2 м. Император Петр II после этого наводнения думал перенести столицу навсегда в Москву, оставив в Петербурге одно Адмиралтейство и гарнизон.

10 сентября 1736 г. почти весь город был покрыт водой при очень сильном западном ветре. 13 декабря того же года вода снова выступила из берегов.

17 августа 1744 г. уровень воды в реке доходил до 2,1 м. при северо-западном ветре. Утром 9 сентября того же года, с залива задул сильный западный ветер, а к вечеру, став юго-западным, нагнал большое наводнение.

29 сентября 1756 г. вода, при жестокой буре, поднималась до высоты 2,2 м.

В 1764 г. с 18 по 22 ноября вода поднималась от 2 до 3 м при совершенном безветрии.

Еще при императрице Елизавете, отец полководца М. И. Кутузова, Илларион Матвеевич Кутузов, представил проект государыне: «О проведении канала для предотвращения жителей столицы от гибельных последствий наводнений», который был осуществлен только при Екатерине II. Суть его сводилась к тому, чтобы создать еще одно русло для отвода воды и понижения уровня воды во время наводнений. В 1764 г. приступили к работам по углублению и отделке глухого протока, формируя канал, названный Екатеринским, в честь императрицы (с 1923 г. – канал Грибоедова). Работы эти длились 26 лет и окончились в 1790 г.

Одно из самых катастрофических наводнений произошло 10 сентября 1777 г.

В этот день, в 10 ч утра, вода поднялась на 3,1 м, затопив город. Только Литейная и Выборгская части не были под водою. В седьмом часу вечера вода начала убывать и в полдень следующего дня вступила в берега. За два дня до этого бедствия в Петербурге стояла бурная погода. Буря особенно много принесла вреда садам Петербурга, особенно Летнему саду. После этого бедствия Екатерина II в указе от 21 сентября 1777 г., данном вице-президенту адмиралтейств-коллегии и главному галерного флота командиру графу И. Г. Чернышеву, повелела учредить предупредительные знаки и сигналы, по которым жители должны были принимать спасательные меры. С этих пор при угрозе наводнения стали производить залп из пушки Петропавловской крепости. В 1788 г., 26 и 27 сентября, вода в Петербурге выше обычного уровня доходила 2,1 м. В сентябре 1802 г. вода поднималась на 2,26 м.

После этого наводнения при Александре I, в 1805 г. была начата постройка Обводного канала. Строительство было предпринято с теми же целями – минимизация бедствий от наводнений. Канал строился 30 лет и составляет в длину более восьми км.

В январе 1822 г., в час ночи, вода также выступала из берегов, привысив ординарную от метку футштока на 2,57 м. 7 ноября 1824 г. случилось самое крупное наводнение из наблюдавшихся за всё время. Вода поднималась в некоторых местах города на 4,1 – 4,2 м. По знаку же в Петропавловской крепости была выше горизонта обычновенной воды на 3,9 м. Уровень поднялся на 420 см выше футшто-

ка, стихия полностью разрушила крепостные сооружения и большинство домов Кронштадта, погибло 93 человека. Бастоны крепости, вместе с пушками, были смыты. В день, предшествовавший наводнению, с самого утра шел дождь и дул холодный ветер, а к вечеру непогода еще усилилась.

После наводнения 1824 г. такой гибельной высоты воды в Петербурге уже не было. Но наводнения продолжались. Так, 29 июня 1827 г. в 12 часов ночи, вода поднялась на 1,5 м., но вскоре, через час, начала сбывать. Такое возвышение воды в июне месяце было необыкновенное: обыкновенная эпоха наводнений в Санкт-Петербурге – вторая половина осени и редко в первой половине августа.

15 декабря 1830 г. в 12 часов дня вода возвысилась до 1,55 м. Не доставало 0,28 м чтобы вода сравнялась с берегами.

Через столетие после наводнения 1824 г. опять произошло страшное наводнение. 23 сентября 1924 г. город выдержал новый жесткий натиск водной стихии. Это было второе по масштабам наводнение в его истории. Через створ Таллинн – Хельсинки за 6 часов прошло около  $30 \text{ км}^3$  (!) воды с запада, под влиянием сильнейшего циклона, траектория которого проходила точно через Финский залив. Это около трети (!) среднего годового стока Невы ( $93 \text{ км}^3$ ). Через несколько часов, эта огромная масса воды, вторгвшись на мелководье Невской губы, обрушилась на Петроград, перевалив через траверз Кронштадта в виде длинной волны с расходом воды 100 – 120 тыс.  $\text{м}^3/\text{сек}$ . Обычный же расход Невы, как крупнейшей реки бассейна Балтики, составляет 2 – 2,5 тыс.  $\text{м}^3/\text{сек}$ , а экстремальные её расходы не превышают 4,5 тыс.  $\text{м}^3/\text{сек}$ . При этом уровень поднялся выше футштока на 369 см. Из воспоминаний очевидцев известно, что невские наводнения обычно сопровождаются явлениями гидравлического удара, сила воздействия которого на преграду многократно превышает нагрузки на объект при той же скорости движения воды. Дополнительно к этому – ураганный ветер западного и юго-западного направлений, со скоростью от 30 до 40 м/с. То есть, что не смоет, то сдует. Вот что рассказывали очевидцы: «...23 сентября 1924 г. с утра ничто, казалось, не предвещало наводнения. Но около полудня с моря подул порывистый западный ветер. Нева и каналы стали набухать. В 1 час 20 мин. вода поднялась на 5 футов. С крепости раздались первые пять предупредительных выстрелов.

С 1 ч. 50 мин. они стали повторяться каждые полчаса, а затем и через 15 мин. В 3 ч. вода пошла на город. На Васильевский с двух сторон – от взморья и от Дворцового моста. К 4 ч. полны водой каналы. К 5 ч. буря достигла наивысшего напряжения. Вода пробрались к Вознесенскому проспекту. Исаакиевский собор и Зимний дворец представляли собой острова". «...В самый разгар наводнения начались пожары. В 7 ч. 30 мин. вечера – на Ватном острове, в показательном заводе взрывчатых веществ на бывшем винном складе. «...Всюду массы народу. Кругом очереди. Можно наблюдать такие картины, как торговцы, находясь по пояс в воде, отпускают товары покупателям, стоящим в воде по колено. Вздутия цен незаметно». «...Наводнение причинило неисчислимые убытки, особенно коммунальному хозяйству. Уничтожены почти целиком все труды последних лет. Снесено 19 мостов. Смыта Стрелка на Елагином острове. В Летнем саду погибло 550 вековых деревьев. Испорчено 120 трамвайных вагонов. Затоплено 2040 строений в Петроградском районе, 1460 – в Центральном, 912 – на Васильевском, 660 в Московско-Нарвском. Затонули или выброшены на берег 40 судов с лесом и другими грузами» (цитируется по: Ким Померанец «Два наводнения, с разницей в сто лет...», журн. Нева, № 7, 1998).

После Второй Мировой войны у берегов Финского залива до устья Невы была создана сеть гидрометеопостов, что позволило заранее подготовиться для защиты от наводнения. 15 октября 1955 г. вода поднялась на 282 см выше ординара футштока. Это было четвертое по величине наводнение за всю историю города. И хотя абсолютные убытки были велики, они оказались неизмеримо меньшими, чем убытки 1924 г. В сентябре 1975 г. произошло пятое по уровню подъема воды за всю историю Ленинграда. Был зафиксирован максимальный уровень подъема воды – 2 м 70 см выше ординара по Кронштадтскому футштоку. Вода залila Васильевский остров, Петроградскую сторону, Ждановский, Октябрьский районы, затоплен Сестрорецк. Работа на десяти крупных заводах была остановлена. Высокий уровень воды держался почти два часа. На станции метро «Горьковская» создалась аварийная ситуация – вода хлынула на станцию. Из-за затопления силовой подстанции Трамвайно-троллейбусного управления нарушился график движения городского транспорта: на перекрестках примерно до 11 ч. можно было заметить транспортные «пробки». Не горело этой ночью на улицах и площадях

около 10 тыс. ламп – вышли из строя до утра 69 пунктов «Ленсвета». Подтоплено 280 подвальных помещений. На некоторых предприятиях пострадали станки, оборудование, материалы.

В конце концов, при подготовке к строительству защитной дамбы, гидрометеослужбой были классифицированы все случаи и все характеры наводнений. По этой классификации установлена градация наводнений по степени опасности: опасные наводнения – подъем воды на 161 – 210 см; особо опасные наводнения – подъем воды на 211 – 299 см; катастрофические наводнения – подъем воды на 300 см. и выше. В начале XXI в. уже произошли два наводнения из разряда «опасных» – 15 ноября 2005 г. (высота подъема воды – 178 см) и в начале января 2008 г. (вода поднялась на 190 см).

В целом, наиболее значительные и тяжёлые по своим последствиям наводнения произошли в 1721, 1724, 1824 и 1924, 1977 гг. За последние 100 лет наблюдалось около 70 подъемов уровня воды в Невской губе более чем на 200 см выше Кронштадтского футштока.

Анализ произошедших наводнений позволяет говорить о том, что при наводнении от 3 м выше ординара будет затоплено около 40 % прибрежной территории Санкт-Петербурга. Частичному затоплению и разрушению подвергнуться территории Балтийского, Кировского, Адмиралтейского заводов, жилые кварталы, станции метро. Могут пострадать одни из самых крупных в городе, очистные сооружения на острове Белом.

Статистико-вероятностный анализ многолетних данных, а также результаты гидродинамического и гидравлического моделирования, полученные Государственным гидрологическим институтом, позволили прийти к выводу о теоретически возможном подъёме воды до 5 – 5,5 м над ординаром Кронштадтского футштока. Поскольку разница высот между истоком и устьем Невы составляет около 5 м, это означает, что Нева потечет всipyть. Конечно, вероятность подобных событий исчезающе мала, но она существует. В целом, за последнюю четверть века наблюдается некоторое увеличение повторяемости и интенсивности невских наводнений. В чем же причина наводнений ?

Их несколько. Во-первых, большое значение имеет само расположение Санкт-Петербурга в естественной мелководной узости Финского залива, да ещё в устьевой зоне реки. Само намерение строительства здесь крупного города, да ещё столицы Империи,

вызывало большие сомнения у современников Петра I. Ведь даже новгородцы, владеющие этими землями около 600 лет, никогда не строили здесь больших крепостей и пристаней, опасаясь разрушительных наводнений. Но экономически и политически это было оправдано. Именно с берегов Невы выход России в Европу морским путем мог бы быть наиболее доступным и коротким, относительно других имеющихся к тому времени морских портов – Архангельска и Азова. Воля Петра была нерушима. И начинается тяжелейшее строительство на болотистых почвах дельты Невы, на островах, в холодном климате. Воздвигнуты мощнейшие на Балтике укрепления Кронштадской крепости, строятся первые промышленные предприятия, верфи и жилые здания. Но не раз труд строителей оказывался напрасным – бурные воды разрушали плоды титанических усилий. И виной тому была не столько река (сток Невы зарегулирован Ладожским озером и колеблется в течение года незначительно), сколько ветер и море. В восточной части Финского залива, по направлению с запада на восток к Санкт-Петербургу, ширина залива сужается, и заметно падают его глубины. При устойчивых ветрах западных направлений, которые преобладают в этом регионе, происходит нагнетание водных масс непосредственно в Невскую губу. Уровень со стороны залива быстро повышается, что создает препятствие для свободного истечения невских вод, и уже теперь уровень в русле реки начинает повышаться. Устье Невы почти в 7 раз превосходит ширину основного русла реки, учитывая ширину всех рукавов Невы в дельте. Это означает, что устье Невы может принять весьма обширный объем нагонных волн из Балтийского моря при сильных западных и юго-западных ветрах, противоположных естественному течению реки. В принципе именно это обстоятельство уменьшает количество наводнений, которых было бы несравненно больше и случались бы они гораздо чаще, будь дельта Невы уже. Но чем сильней натиск ветров с запада, тем скорей останавливается течение в реке и в рукавах её дельты, Нева выступает из берегов и затапливает все побережье. В экстремальных случаях вполне возможен и кратковременный поворот воды вспять, к Ладожскому озеру.

Одной из главных особенностей р. Невы является то, что она на всем своем 70-километровом протяжении из Ладожского озера до Финского залива почти через каждые полкилометра меняется по

ширине. И максимум таких колебаний в ширине русла доходит до 426 м в некоторых местах. Самое узкое место русла Невы – у Исаакиевского собора: 363 м; самое широкое – у Смольного собора 853 м. Около Петропавловской крепости ширина Невы составляет около 640 м. Глубина Невы также не равномерна: около Александро-Невской Лавры глубина реки около 11 м; выше Охты по течению реки глубина составляет уже более 15 м; у Смольного – 18 м; у Таврического сада, а это недалеко от Смольного, глубина уже около 17,5 м; у Летнего сада глубина реки 14,7 м.

Скорость течения Невы непостоянна и не во всех местах одинакова. Она увеличивается по мере впадения других речек и притоков в основное русло Невы, с одной стороны, и, с другой стороны, уменьшается по мере разделения основного русла на рукава и каналы. Поэтому высота подъема воды при наводнении не всюду одинакова.

Во-вторых, сам Финский залив имеет вытянутую по направлению с запада на восток форму, с плавным падением глубин в сторону Санкт-Петербурга, что благоприятствует нагнетанию в него водных масс из близлежащих районов моря. Циклоны, а порой и их серии, зарождающиеся над Северной Атлантикой, далее следуют в сторону Европы. Их траектории различны – в годы усиления NAO циклоны несколько отклоняются к северу, в годы ослабления – к югу. Далеко не каждый циклон способен привести к наводнению. Однако если его траектория оказывается строго по линии расположения Финского залива, а сам циклон мощный, то это создаёт предпосылки для притока воды в Финский залив различной амплитуды, а в дальнейшем водные массы, движимые сильным устойчивым ветровым воздействием с большой скоростью направляются к Невской губе. Свой вклад в наводнение вносят сейшевые колебания уровня балтийских вод, возникающие за счёт разности давления воздуха на уровне моря при прохождении циклона. Их амплитуда не превышает нескольких десятков сантиметров, но они во многом формируют длинные волны и способствуют их вхождению в Финский залив, усиливая влияние собственно ветрового волнового нагона.

В-третьих, свой вклад в возникновение наводнений вносят крупномасштабные гелиогеофизические процессы. Интенсивность и направление движения циклонов над Европой зависит от изменчивости параметров атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой. В свою очередь, интенсивность атмосферной циркуляции

определяются градиентами атмосферного давления между центрами действия атмосферы, которыми в данном регионе являются Исландский минимум и Азорский максимум давления. Давление воздуха на уровне моря и в выше лежащих слоях атмосферы зависит во многом от температуры океана и динамических процессов в атмосфере Земли, связанных с перераспределением момента импульса, влиянием силы Кориолиса, приливообразующих сил. Термический режим и динамика давления воздуха в регионе Северной Атлантики и Европы подвержены выраженной сезонной изменчивости. На эти изменения накладываются межгодовые и многолетние циклические колебания таких процессов, как солнечная активность с периодом около 11 и 22 лет, 19-летний цикл колебаний уровня моря под влиянием силы притяжения Луны и Солнца, динамика скорости вращения Земли и др. Некоторые из этих процессов достаточно хорошо изучены, по ним есть многолетние данные (как, например, по солнечной активности), другие же изучены в меньшей степени. Но нет сомнений, что глобальные гелиогеофизические процессы способны оказывать и оказываются весьма значительное влияние на состояние и изменчивость процессов в атмосфере и Мировом океане Земли и на климат отдельных регионов, в том числе региона Балтики.

Итак, что мы имеем в итоге ? Возникновение и величина наводнений в Санкт-Петербурге зависит от влияния факторов локального, регионального и глобального масштабов. Экстремальные наводнения, очевидно, возникают при совместном благоприятном влиянии этих факторов, которые усиливают эффект в своей совокупности, но такое их сочетание возникает, к счастью, довольно редко. Какие же видимые факторы могут привести к возникновению экстремальных наводнений ? Выше уже говорилось о том, что уровень в Финском заливе во многом зависит от циклонической деятельности, а уровень в Кронштадте (см. рис. 1.30 б) находится в довольно тесной зависимости от NAO. Необходимо, чтобы траектория движения циклона проходила точно через Финский залив в восточном направлении, а сам циклон должен быть достаточно мощным. На основе полученных нами ранее результатов относительно влияния динамики интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, выражаемой через индексы NAO, на гидрометеорологические процессы в Северной, Центральной Европе [7, 28, 29, 54], можно с уверенностью говорить о том, что при высо-

ких значениях NAO, траектории циклонов смещаются к северо-востоку и проходят через Норвегию и побережье Арктических морей, и они могут иногда достигать устья р. Лены. При значениях NAO, близких к средним, циклоны переносят влажный воздух преимущественно в бассейны рек, располагающихся на территории Белоруссии, Центральной Европейской России вплоть до бассейна р. Волги. При низких же значениях NAO циклоническая деятельность в регионе Балтики и Центральной России заметно ослабевает, но резко возрастает на Юго-Востоке Европейской части России в бассейне Азовского и Черного морей. Таким образом, исходя из анализа географических особенностей движения циклонов в зависимости от значений NAO, можно прийти к выводу о том, что наиболее благоприятная для особо опасного наводнения траектория движения циклона может возникнуть при значениях Северо-Атлантического колебания, близких или незначительно превосходящих среднее значение. Однако стоит учитывать, что траектория циклона, зародившегося над океаном, может несколько меняться при его вступлении на суши под влиянием факторов подстилающей поверхности и общей динамики барического поля региона. Приведём несколько примеров. Катастрофическому наводнению 1924 г., когда уровень поднялся на 369 см, соответствовали близкие к средним значения индексов NAO. Так, величина индекса  $NAO_3$  составила 28,6 гПа при среднем значении 30,46, а значение  $NAO_{об}$  равнялось 0. Особо опасному наводнению 1967 г., с поднятием уровня на 234 см, соответствовала величина индекса  $NAO_3$  равная 31,5 гПа, а значение  $NAO_{об}$  составило 0,7 у.е. Однако нельзя полагать, что экстремальные и особо опасные наводнения зависят прежде всего от NAO. Ведь динамика средних годовых значений уровня в Кронштадте находится, согласно нашим расчетам, почти в такой же степени зависимости от изменчивости стока р. Невы ( $r = 0,451$  при  $P = 99\%$ ), как и от NAO ( $r = 0,471$  при  $P = 99\%$ ). Однако здесь необходимо учитывать следующую очень важную особенность. Сток р. Невы зарегулирован огромным Ладожским озером. Поэтому расходы Невы в данный момент времени отражают процесс постепенного накопления воды в Ладоге с огромной территории ее водосбора и определяются водностью бассейна в предшествующий период, с задержкой от 2 до 3 лет. Аналогично ведут себя и другие реки, в бассейне которых есть крупные озёра, например Кеми-Йоки (Финляндия).

дия), Гёта-Эльв (Швеция). Экстремальное катастрофическое наводнение может произойти при совпадении значительного увеличения расходов Невы и притока вод залива с запада. Например, в 1924 г. расходы Невы были на 50 % выше нормы, а уровень Ладожского озера превышал его положение в годы с самыми низкими отметками в 1940 и 1973 – 1975 гг. на 2 м. Но увеличенные расходы Невы и возросший уровень Ладоги, не являлись, в отличие от нагонного увеличения уровня в Невской губе и Восточной части Финского залива, следствием гидрометеорологических процессов, происходящих только в 1924 г. Уровень озера и соответствующие расходы вытекающей из него реки, формировались в течение нескольких предшествующих катастрофическому наводнению лет, но максимум их значений пришелся как раз на время прохождения сильнейшего циклона над Центральной Балтикой и Финским Заливом, что и привело к трагическим последствиям.

Исходя из вышеприведенных соображений, катастрофические и «очень опасные» наводнения в Санкт-Петербурге вполне могут поддаваться прогнозированию. Прогноз может быть основан на анализе гидрологических данных за предшествующие не менее 15 – 20 лет, что позволяет оценить текущий период фазы водности бассейна Ладоги и стока Невы; оценке ожидающихся значений НАО, также с учётом выявленной цикличности. На последнем этапе необходимо вовремя определить траекторию движения мощного циклона или их серии и оценить вызываемый им подъём уровня на постах, располагающихся на побережье юго-восточной Балтики и западной части Финского залива (створ Таллинн – Хельсинки), в сравнении с уже имеющимися данными, соответствующими крупным наводнениям в прошлом.

Менее разрушительные наводнения, с подъёмом уровня воды не более 210 см выше Кронштадского футштока, отнесенные по выработанной классификации к группе «опасных», прогнозировать труднее. Их может вызвать циклон даже средней силы, траектория которого не обязательно должна строго соответствовать морфометрии Финского залива. Опасное наводнение, как показывает анализ данных, может возникнуть как при высоких, так и при довольно низких значениях НАО.

С учётом всего вышесказанного, а также основываясь на анализе современных тенденций изменчивости интенсивности атмосфер-

ной циркуляции над Северной Атлантикой и водности рек в бассейне Балтийского моря, которые демонстрируют направленность к своему снижению, можно вполне уверенно говорить о том, что катастрофическое наводнение Санкт-Петербургу в ближайшие 5 – 8 лет не угрожает. А после полной достройки Комплекса защитных сооружений от наводнений (дамбы), Северная столица навсегда будет избавлена от опасности их губительного воздействия.

Теперь, наконец, вернёмся к рассмотрению влияния NAO на океанологические характеристики в более южных районах моря. Как видно из табл. 1.8., развитие циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой сопровождается уменьшением значений разности уровней между южными районами Балтийского моря, зоной Датских проливов и проливом Каттегат. Не обнаружено значимой связи значений NAO с разностью уровней между южной частью Балтики и юго-восточной частью Северного моря (для разности уровней Эсбьерг – Владиславово). Наибольшая теснота связи с индексами NAO свойственна для разности уровней между постами Владиславово и Гедсер со сдвигом относительно значений NAOоб. на 3 года ( $r = -0,441$  при  $P = 99\%$ ). Из всех пар разностей уровней моря, использованных в настоящей работе, только для разности уровней между пунктами Смоген и Гедсер получен значимый при 95 %-ном уровне обеспеченности коэффициент корреляции с NAO об. при отсутствии временного сдвига. Но при наличии временного сдвига на 2 года теснота соответствующей связи всё же увеличивается ( $r = -0,381$  при  $P = 99\%$ ).

Возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой приводит к снижению приточной составляющей водообмена между Балтийским и Северным морями и увеличению отточной составляющей (соответственно  $r = -0,353$  и  $r = 0,348$  при  $P = 95\%$ , временной сдвиг относительно NAOоб. составляет 4 года). Наличие продолжительного временного сдвига между интенсивностью атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и параметрами водообмена может быть объяснено, по-видимому, тем, что наибольший приток воды из Северного моря в Балтийское, происходит не при максимальных значениях NAO, а при значениях близких к средним, когда траектории циклонов направлены через Датские проливы.

Проанализируем далее влияние Северо-Атлантического колебания на динамику солёности и содержания растворённого кислорода на различных горизонтах в районах крупнейших впадин Балтики. Результаты расчётов представлены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

**Коэффициенты корреляции между значениями индекса NAO<sub>об.</sub> и динамикой средних годовых значений солёности и содержания растворенного кислорода в придонных и глубинных горизонтах Балтийского моря**

Фактор среды	Временной сдвиг относительно NAO <sub>об.</sub> гг.	NAO <sub>об.</sub>	Факторы среды	Временной сдвиг относительно NAO <sub>об.</sub> гг.	NAO <sub>об.</sub>
Солёность в Готландской впадине, 240 м	0	-0,435**	Солёность в Борнхольмской впадине, 90 м	0	0,053
	1	-0,384*		1	0,058
	2	-0,381*		2	0,064
Солёность в Готландской впадине, 100 м	0	-0,212	Кислород в Готландской впадине, 240 м	0	-0,273
	1	-0,302*		1	-0,411**
	2	-0,185		2	-0,201
Солёность в Гданьской впадине, 100 м	0	0,031	Кислород в Гданьской впадине, 100 м	0	0,027
	1	-0,286*		1	-0,253*
	2	-0,211		2	-0,184
Солёность в Гданьской впадине, 40 – 60 м	0	-0,062	Кислород в Борнхольмской впадине, 90 м	0	0,083
	1	-0,208		1	0,051
	2	-0,482**		2	-0,101

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком “\*\*”, соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком “\*” – 95 %-ному уровню обеспеченности.

Как видно из табл. 1.9, с ростом значений индекса NAO<sub>об.</sub> происходит уменьшение солёности и содержания растворённого кислорода в придонных горизонтах Готландской и Гданьской впадин. Наибольшие по абсолютному значению коэффициенты корреляции получены при отсутствии временного сдвига. Иллюстрацией данной зависимости является рис. 1.34. В глубинных слоях Готландской и Гданьской впадин также наблюдается наличие значимых связей отрицательного характера между многолетней изменчивостью обобщённого индекса NAO и значениями солености и концентрацией кислорода, однако здесь данные связи выражены слабее. Для динамики значений солености и содержания кислорода в глу-

бинном и придонном горизонтах Борнхольмской впадины наличие значимой связи с NAO не установлено.

Итак, Северо-Атлантическое колебание оказывает значительное влияние на многолетнюю динамику количественных значений основных абиотических факторов морской среды Балтики, таких как температура воды, солёность и концентрация кислорода на различных горизонтах. Однако, если связь  $NAO_{об.}$  с температурой воздуха и температурой воды имеет положительный характер, то для солёности и содержания растворённого кислорода установлен отрицательный характер связи, выражющийся в уменьшении значений данных характеристик на фоне возрастания интенсивности атмосферной циркуляции над северной частью Атлантического океана.

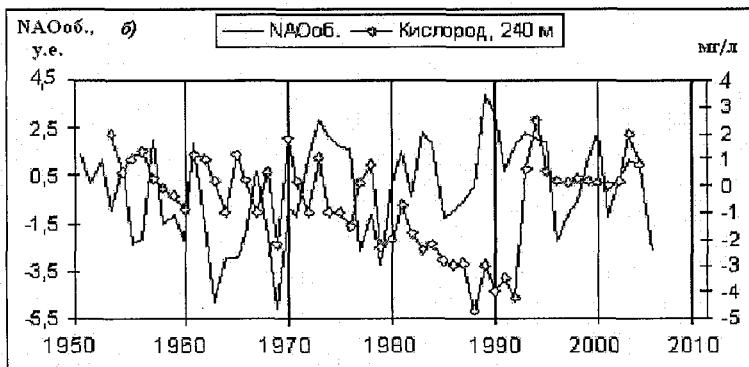


Рис. 1.34. Сравнение значений многолетней изменчивости обобщённого индекса атмосферной циркуляции NAO с динамикой средних годовых значений солёности (a) и содержания растворённого кислорода (b) в придонном горизонте Готландской впадины.

Возникает необходимость прояснить причины такой ситуации.

Снижение солёности и концентрации кислорода в глубинных и придонных горизонтах крупнейших впадин Балтийского моря на фоне развития атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой говорит о формировании в этот период определённого препятствия для проникновения в Балтику североморских вод. Таким препятствием может быть только возрастание уровня моря в южных, и в особенности в юго-западных районах моря расположенных непосредственно перед зоной Датских проливов. Отрицательный характер связи между значениями индекса  $NAO_{об.}$  и рассмотренными

выше разностями уровня моря на постах между северной частью пр. Каттегат и южной частью Датских проливов возникает за счет возрастания уровня моря в юго-западных районах в периоды усиления циркуляции атмосферы над Северо-Атлантическим регионом. При этом установлено, что высота уровенной поверхности вблизи Датских проливов находится в достаточно тесной корреляционной связи с суммарным речным стоком в Ботнический залив. Между динамикой средних годовых значений уровня моря на постах Кобенхавн, Гедсер и Кунгхольмсфорта со средним годовым стоком в Ботнический залив коэффициенты корреляции равны соответственно  $r = 0,452$ ,  $r = 0,421$ ,  $r = 0,438$  при  $P = 99\%$ . Связь между величинами разностей уровней и гидрохимическими условиями во впадинах Балтийского моря должна иметь, по-видимому, положительный характер, т.е. на фоне относительно низкого уровня в юго-западных районах моря и достаточно высокого уровня в северной части пр. Каттегат можно ожидать формирование предпосылок для поступления североморских вод в Балтийское море, в связи с чем солёность и содержание кислорода во впадинах должны возрастать.

В табл. 1.10 представлены коэффициенты корреляции между средними годовыми разностями уровней моря ( $\Delta H$ ) и солёностью, концентрацией кислорода в Готландской и Гданьской впадинах. Как видно из данной таблицы, динамика солёности, а также концентрации кислорода, которые являются одними из основных экологических факторов для морской экосистемы, действительно демонстрируют значимую и достаточно тесную связь с разностями уровней моря. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции свойственны для значений солёности в придонном горизонте Готландской впадины и для разности уровней моря на постах Смоген и Кобенхавн, причём наибольшая теснота связи проявляется без временного сдвига ( $r = 0,684$  при  $P = 99\%$ ).

Концентрация кислорода в Готландской впадине на глубине 240 м также демонстрирует наибольшую зависимость от величины разностей уровня между постами Смоген и Кобенхавн ( $r = 0,523$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг отсутствует). Для средней годовой солёности в глубинном горизонте Готландской впадины характерна меньшая, но значимая теснота связи с уровенным режимом.

Таблица 1.10

**Коэффициенты корреляции между средними годовыми разностями уровней моря ( $\Delta H$ ) и значениями факторов морской среды в Готландской и Гданьской впадинах Балтики**

Фактор среды	Временной сдвиг относительно $\Delta H$ гг.	$\Delta H$ на постах в среднем за год		
		Смоген и Кобенхавн	Смоген и Гедсер	Владиславово и Гедсер
Соленость в Готландской впадине, 240 м	0	0,684**	0,576**	-0,144
	1	0,571**	0,527**	-0,196
	2	0,602**	0,501**	-0,145
Соленость в Готландской впадине, 100 м	0	0,312	0,293*	-0,126
	1	0,281*	0,272	-0,113
	2	0,187	0,165	-0,084
Соленость в Гданьской впадине, 100 м	0	0,314*	0,301*	-0,136
	1	0,341*	0,326*	-0,154
	2	0,338*	0,315*	-0,148
Кислород в Готландской впадине, 240 м	0	0,523**	0,483**	-0,265
	1	0,524**	0,433**	-0,218
	2	0,544**	0,431**	-0,201

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком «\*\*», соответствуют 99 % уровню обеспеченности, знаком «\*» 95 % уровню обеспеченности.

В связи с этим можно предположить, что в центральной части моря трансформированные североморские водные массы распространяются по придонному горизонту. Динамика средних годовых значений солёности в придонном горизонте Гданьской впадины также демонстрирует зависимость от разности уровней между постами Смоген и Кобенхавн ( $r = 0,314$  при  $P = 95\%$ , временной сдвиг отсутствует), однако здесь теснота связи заметно меньше, чем для солёности в Готландской впадине. Статистически значимая зависимость между динамикой факторов среды во впадинах моря и разностями уровней на постах Владиславово и Гедсер отсутствует, что позволяет прийти к выводу, что условия, благоприятствующие затоку североморских вод в Балтику, зависят в первую очередь от соотношения уровней в южной части Датских проливов и в северной части пр. Каттегат.

Таким образом, можно прийти к выводу о том, что увеличение разности уровней моря между северными районами пр. Каттегат и южными районами Датских проливов способствует проникновению соленых североморских вод в Балтийское море. В связи с этим вели-

чину разностей уровней правомерно рассматривать как объективный индикатор поступления высокосоленых и обогащенных кислородом водных масс атлантического происхождения в центральную часть Балтийского моря. Установлено наличие значимой и достаточно высокой связи между средними годовыми разностями уровней на постах Смоген и Копенгаген и приточной составляющей водообмена между Балтикой и Северным морем ( $r = 0,491$  при  $P = 95\%$ ).

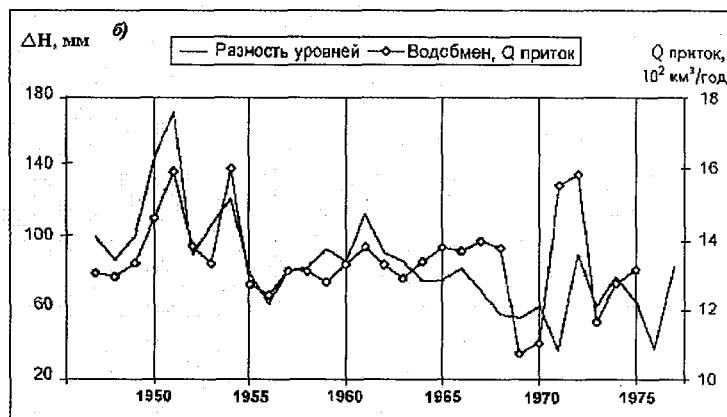
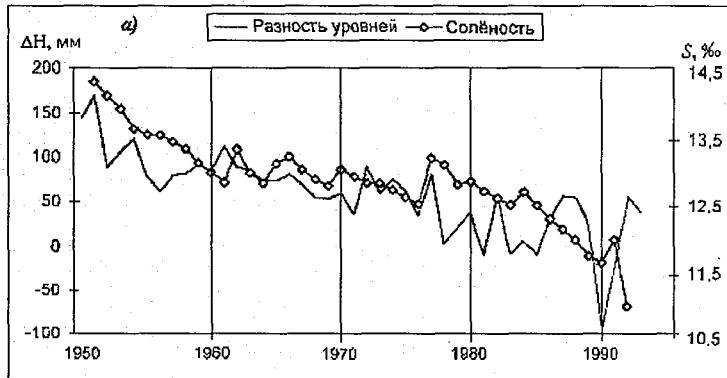


Рис. 1.35. Сравнение многолетней динамики солёности в придонном горизонте Готландской впадины (а) и приточной составляющей водообмена между Северным и Балтийским морями (б) со средней годовой разностью уровней моря на постах Смоген и Копенгаген.

На рис. 1.35 графически представлен характер зависимости многолетней динамики солёности в придонном горизонте Готландской впадины и приточной составляющей водообмена между Северным и Балтийским морями от уровняного режима. Как видно из рис. 1.35 (а), в начале 1990-х годов величина разности уровней между постами Смоген и Кобенхавн достигла своих минимальных отрицательных значений за весь рассматриваемый период, что произошло за счет наиболее значительного поднятия уровня в южной части Датских проливов по сравнению с уровнем в северной части пр. Каттегат.

Проанализируем также наличие взаимосвязей между суммарным средним годовым стоком в Балтийское море и параметрами водообмена между Северным и Балтийским морями. Удалось установить, что возрастание объёма суммарного речного стока в море сопровождается увеличением значений отточной составляющей водообмена и уменьшением значений приточной составляющей. Наибольшая теснота связи наблюдается при временном сдвиге параметра водообмена относительно значений суммарного стока на 2 года (соответственно  $r = 0,348$  и  $r = -0,304$  при 95 % уровне обеспеченности). В свою очередь, возрастание отточной составляющей водообмена сопровождается уменьшением концентрации кислорода в придонном горизонте Готландской впадины ( $r = -0,411$  при  $P = 95 \%$ ), а также солёности ( $r = -0,521$  при  $P = 95 \%$ ). Следовательно, и здесь мы видим, что возрастание речного стока создаёт определённое препятствие для проникновения в Балтику водных масс с высокой солёностью и значительным содержанием кислорода из Северного моря, что может быть объяснено повышением уровня моря в южной части Датских проливов за счет поступающих пресных вод. Получены положительные и значимые при 99 %-ном уровне обеспеченности коэффициенты корреляции между значениями суммарного среднего годового речного стока в Балтику и средними годовыми значениями уровня моря на посту Гедсер (Дания) ( $r = 0,434$ ) и Кобенхавн ( $r = 0,461$ ), что подтверждает вышесказанное.

Основываясь на всех представленных выше результатах, возможно составить обобщающую логическую модель, отражающую взаимосвязи между метеорологическими, гидрологическими и океанологическими процессами в северной Атлантике и в регионе Балтийского моря.

Возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над северной Атлантикой сопровождается ростом скорости переноса тепла и влаги с океана в направлении Северной и Северо-Восточной Европы. В регионе Балтики в это время наблюдается потепление, происходит возрастание температур воздуха и воды, а также снижение площадей ледового покрова в зимнее время. Развитие циклонической деятельности приводит также к увеличению объема жидких и твердых атмосферных осадков, выпадающих на территорию Норвегии, Центральной и Северной Швеции и Финляндии. Одной из главных особенностей геологического строения и рельефа западной части Скандинавского полуострова, вытянутой в меридиональном направлении, являются системы возвышенностей с абсолютными отметками от 1200 до 2200 м (г. Сонфьеллет – 1277 м, г. Нура-Стуфьеллет – 1764 м, г. Кебнекайсе – 2117 м и др.). В результате формируется выраженный водораздел, проходящий примерно по границе между Норвегией и Швецией, который перераспределяет большую часть выпадающих осадков в бассейн Балтийского моря. Значительный продольный уклон территории в западно-восточном направлении, который составляет в среднем около 400 м на 100 км, и локальные неоднородности рельефа способствуют формированию развитой речной сети с преобладанием средних по водности рек, которые имеют средние годовые расходы от 400 до 600  $m^3/s$ . В периоды усиления НАО циклонические воздушные потоки, несущие влажные атлантические воздушные массы, движутся преимущественно вдоль Скандинавского полуострова с юго-запада на северо-восток. Рост интенсивности атмосферных осадков в этот период приводит к значительному увеличению расходов рек западной и северной частей водосборного бассейна в Балтику. Наличие положительного характера связи некоторых рек Прибалтики с Северо-Атлантическим колебанием можно объяснить исходя из предположения о некотором изменении траектории движения отдельных циклонов к юго-востоку при их движении над континентом. Как уже отмечалось, циркуляция поверхностных вод в Балтийском море, как и в большинстве других морей северного полушария, в целом носит циклонический характер, т.е. в направлении против часовой стрелки. В связи с этим есть основания полагать, что речные воды, поступающие в море с территории Швеции, в дальнейшем распространяются, в силу своей относительно малой плотности, преимущественно в южном направлении.

щественно на юг и юго-запад. Усиление западного переноса будет способствовать развитию данной тенденции. Ее следствием будет являться определенное возрастание уровня моря в юго-восточной части Балтики, в особенности в мелководных и узких проливах Эрессун (Зунд) (уровенный пост Кобенхавн) и Малый Бельт (уроненный пост Гедсер), что в свою очередь ведет к замедлению процесса поступления водных масс из Северного моря. В результате снизится интенсивность аэрации и обновления водных масс в глубоководных впадинах Балтийского моря. Уменьшение концентрации растворённого кислорода и значений солености будет характерно прежде всего для центральных и восточных районов, в частности для Готландской впадины, аэрация в которой становится возможной только в периоды мощных и продолжительных вторжений североморских вод.

В периоды снижения интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой увеличивается водность рек, бассейны которых располагаются на территории Германии и Польши, в то время как сток со Скандинавского полуострова снижается. Можно предположить, что подобная ситуация также могла бы привести к некоторому возрастанию уровня моря в юго-западной Балтике и к соответствующему ограничению поступления североморских вод. Однако в таком случае, между значениями индексов NAO и соленостью, а также концентрацией растворённого кислорода должны были быть получены положительные коэффициенты корреляции. Но результаты расчётов, представленные в табл. 1.9, свидетельствуют об обратном. На рис. 1.34 хорошо видно, что возрастание значений индекса  $NAO_{ob}$  сопровождается снижением значений солёности и концентрации растворенного кислорода в придонном горизонте Готландской впадины.

Таким образом, необходимо признать, что уровень моря в юго-западной части Балтики и в южных районах Датских проливов зависит в основном от поступления речных вод из северных и северо-западных областей бассейна. Однако это не означает, что при низких значениях интенсивности атмосферной циркуляции над северной Атлантикой и соответственно сниженном стоке рек Швеции создаются благоприятные условия для проникновения в Балтику водных масс из Северного моря. Необходимо учесть, что при слабой активности циклонических процессов нельзя ожидать существенно-

го возрастания уровня в Северном море, а следовательно, и соответствующего напора в проливе Каттегат, что на фоне увеличения весенних расходов рек южных регионов также не позволит проникнуть в Балтийское море значительным по объёму атлантическим водным массам. Оптимальные условия для проникновения североморских вод в Балтику можно ожидать при значениях индексов НАО, близких к среднему.

Обобщив особенности многолетней динамики описанных выше гидрометеорологических характеристик и значений факторов среды, можно прийти к выводу о том, что за последние 50 – 100 лет наиболее экстремальные их значения наблюдались в период с конца 1980-х до начала 1990-х годов. Именно в это время интенсивность атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой достигла экстремально высоких за последние 100 лет значений, что привело к увеличению средних годовых температур воздуха на западном и восточном побережьях Балтийского моря, до одних из самых высоких значений, а также к значительному возрастанию температуры воды в промежуточных и глубинных горизонтах глубоководных впадин и резкому снижению ледовитости моря в этот период. Одновременно с этим уровень моря в юго-западных районах Балтики на постах Копенгаген, Гедсер и Кунгхольмсфорт достиг наибольших величин за последние 100 лет регулярных наблюдений. На этом фоне в период с 1990 по 1992 г. резко снизились значения солености в глубинном и придонном горизонтах крупнейших впадин, причем в придонном горизонте Готландской впадины в 1992 г. было зарегистрировано экстремально низкое значение солёности за весь период инструментальных наблюдений.

## **Глава 2.**

### **ДОННЫЕ РЫБЫ В ЭКОСИСТЕМЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

#### **2.1. Общая характеристика ихтиофауны**

Современная ихтиофауна Балтики сформировалась в основном в послеледниковый период на фоне чередующихся крупномасштабных стадий опреснения и осолонения моря и соответствующих изменений в гидрологическом режиме. На протяжении последних 8 – 10 тыс. лет возникала и исчезала связь с соседними морями: Северным, входящим в бореальную область, и Белым, принадлежащим к арктической области. В связи с этим в состав ихтиофауны вошли в основном виды, обладающие значительными адаптационными возможностями как чисто морского, так и пресноводного континентального происхождения. Доминирующее положение в ихтиофауне Балтийского моря занимают виды, генетически связанные с фауной Атлантического океана, некоторые из которых приспособились к жизни в солоноватых водах и за счёт этого смогли существенно расширить свой ареал. К их числу принадлежат важные промысловые пелагические, т.е. населяющие толщу воды рыбы, такие как балтийская сельдь (*Clupea harengus membras L.*), шпрот (*Sprattus sprattus balticus L.*) и массовые донные виды, такие как балтийская треска (*Gadus morhua callaris L.*), камбаловые – речная камбала (*Pleuronectes flesus L.*), морская камбала (*Platessa platessa L.*), лиманда (*Limanda limanda L.*) и крупные ромбовые – тюरбо (*Rhombus maximus L.*). Тем не менее, низкая солёность вод Балтийского моря является значительным препятствием для проникновения и широкого распространения в нём большинства морских рыб, например, таких как сарган (*Belone belone L.*), пикша (*Gadus aeglefinus L.*), сайда (*Pollachius virens L.*), кефаль (*Mugil capito Cuv.*), скумбрия (*Scomber scombris L.*), пингагор (*Cyclopterus lumpus L.*), липарис (*Liparis liparis L.*) и др. В связи с этим их локализация ограничивается, как правило, южными районами моря.

Для большинства распространённых в Балтике морских рыб данный водоем представляет собой северно-восточную окраину их

обширного атлантического ареала. Некоторые морские виды, такие как треска и камбаловые, смогли сформировать здесь устойчивые местные популяции, состоящие из особей, обладающих рядом приобретенных адаптационных морфометрических и физиологических особенностей, которые позволяют им жить и размножаться в солоноватоводных условиях. Другие виды морского происхождения, в частности, кефаль и скумбria, по-видимому, не смогли в полной мере адаптироваться к условиям Балтики и не образуют местных популяций. Европейская скумбria, пеламиды, рамада и кефали появляются в Южной и отчасти в Центральной Балтике только в период своих летних нагульных миграций из более южных районов Атлантики [17, 49].

Видовое разнообразие морских рыб, по мере продвижения с запада на восток заметно сокращается. В пр. Скагеррак, при солёности около 25 %, встречается более 100 видов морских рыб, в пр. Каттегат, при 20 % – 75 видов, в проливах Большой и Малый Бельт, при солёности менее 15 % – 55 видов, в Борнхольмском бассейне – 27 видов, в Финском и Ботническом заливах – не более 20 видов [55].

К группе генетически пресноводных рыб, населяющих наиболее опреснённые районы моря, такие как эстуарии рек, заливы и бухты в Восточной Балтике, принадлежит не более 40 видов. Это типичные представители пресноводной ихтиофауны, такие как лещ (*Abramis brama L.*), плотва (*Rutilus rutilus L.*), густера (*Blicca bjoerkna L.*), голавль (*Leuciscus cephalus L.*), язь (*Leuciscus idus L.*), чехонь (*Pelecus cultratus L.*), ёрш (*Acerina cernua L.*), окунь (*Perca fluviatilis L.*), щука (*Esox Lucius L.*) и полупроходные рыбы, заходящие для размножения в низовья рек, но нагуливающиеся в солоноватой воде, например, такие как морской сиг (*Coregonus lavaretus lavaretus L.*), ряпушка (*Coregonus albula L.*), корюшка (*Osmerus eperlanus L.*), сырть (*Vimba vimba L.*) и др.

Количество проходных видов незначительно, например, среди ценных промысловых рыб можно выделить только 3 вида – атлантический лосось (*Salmo salmo L.*), кумжа (*Salmo trutta L.*) и морской угорь (*Conger conger L.*).

Характерной чертой современной Балтики является пониженная соленость глубинных, и особенно поверхностных водных масс вследствие значительного объема речного стока и весьма ограниченной связи с океаном. Однако около 7 000 лет назад на месте Балтики

существовало Иольдиевое море, связь с океаном была более выраженной и осуществлялась через широкие проливы в южной части Швеции. Однако в дальнейшем, поднятие земной коры привело к исчезновению этих проливов, и на их месте к настоящему времени остались только крупные глубокие озера, такие как Венерн, Веттерн и Ельмарен. Солёность Иольдиевого моря, судя по анализу ископаемой фауны того времени, была значительно выше, чем в наши дни. В целом в настоящее время соленость поверхностных вод, как показано на рис. 2.1, уменьшается по направлению с запада на восток. В районе пр. Каттегат соленость вблизи поверхности от 14 до 15 ‰, у восточного побережья Дании – не превышает 10 ‰, около о. Борнхольм – не более 8 ‰, в центральных районах моря и у о. Готланд – от 6 до 7 ‰, а в Финском и Ботнических заливах соленость снижается до 3 – 5 ‰.

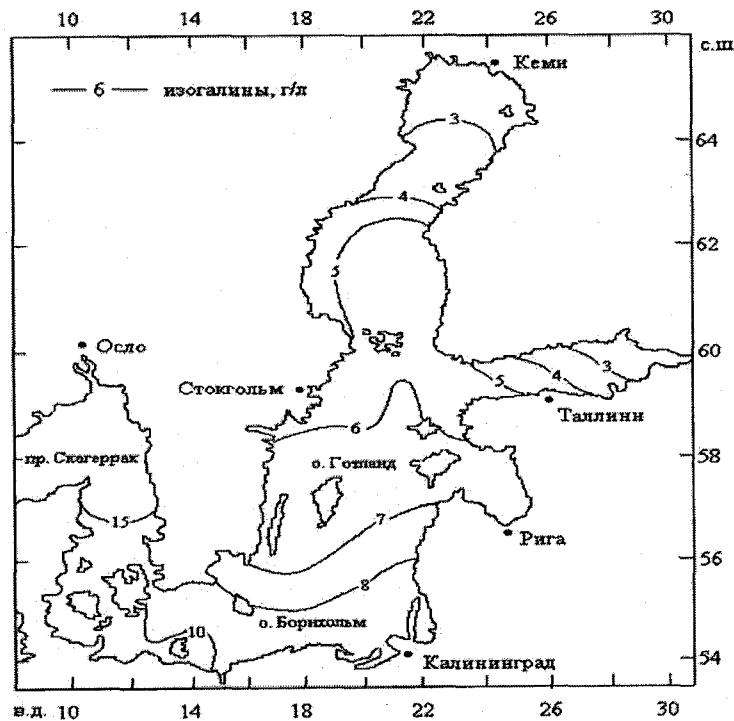


Рис. 2.1. Распределение среднемноголетних значений солености на поверхности Балтийского моря летом.

Соленость в губинных и придонных горизонтах, как было подробно рассмотрено в разд. 1.7, достигает более высоких значений. В Арконской впадине она колеблется от 14 до 16 ‰, в Борнхольмской впадине – от 12 до 14 ‰, в Готландской – от 11 до 13 ‰, в западной части Финского залива – от 6 до 7 ‰.

Таким образом, в Балтийском море солёность, в силу своей выраженной региональной и времененной изменчивости, принадлежит к числу основных экологических факторов, влияющих на жизнедеятельность и распределение организмов и их сообществ. Известно весьма ограниченное количество видов, обладающих выраженной эвригалинностью, т.е. способных обитать как в морской, так и в пресной воде. Причиной этому является определённая сдерживающая роль значний солености. Диапазон концентраций солей в воде от 5 до 8 г/л многие исследователи [27,28,50] считают своеобразным барьером, разделяющим группы организмов морского и пресноводного происхождения и одновременно узкой гранью их стыка, которая называется *экотоном*. Известный американский эколог Ю. Одум в своём двухтомном издании "Экология" [51], определят экотон как "резкий переход между двумя или более различными сообществами, например, между лесом и степью или между твёрдым и мягкими грунтами на дне моря". При этом Ю. Одум отмечает, что "сообщество экотона содержит обычно многие организмы из контактирующих сообществ и, кроме того, организмы, характерные только для экотона и нередко ограниченные им в своем распространении". Имеется в виду, что в состав сообщества экотона могут также входить особые виды, не свойственные для контактирующих сообществ. Эти виды извлекают определённую пользу из обитания в данной зоне и могут являться в определённой мере "индикаторами экотона". Отечественный исследователь Э. Пианка [53] определят экотон как "пространственно-ограниченное сообщество, образующее переход между двумя другими четко различающимися сообществами". Здесь под экотоном понимается не только определённое местообитание с достаточно выраженнымми границами, но и характерное уникальное сообщество, в состав которого входят представители обоих контактирующих сообществ. Большинство экологов говорит об экотонах как о вполне конкретных природных образованиях – особых сообществах, возникающих в районах с выраженнымми неоднородностями условий среды. Выра-

женная смена растительного покрова может быть свойственна для районов, где подстилающие геологические формации создают значительные изменения в минеральном составе почвы. Резкие физические границы проявляются между наземными и водными сообществами. В морских донных сообществах на крутых обрывистых склонах часто наблюдается выраженная зональность сообществ в зависимости от уровня освещенности и степени обилия питательных веществ, напоминающая зональность на горных склонах суши, а физические границы могут быть выражены менее четко. В зоне контакта высокосолёных морских и пресных вод, поступающих в море за счёт речного стока, формируются сообщества, в состав которых входят как типично пресноводные, так и типично морские виды. Многие морские виды способны обитать во взрослом состоянии при пониженной солености, а пресноводные виды, достигая определенного возраста, получают возможность для ограниченного распространения в высокосолёных водах. Так как в данном случае резкие физические границы между пресноводными и морскими сообществами отсутствуют, то формируется более или менее широкая зона эктона, включающая в свой состав характерное сообщество, состоящее из представителей морской и пресноводно-солоноватоводной фаун.

Относительно чёткий пограничный характер солености около 8 %, разделяющий морской и пресноводные организмы в Балтийском море, был установлен в работах многих авторов. В частности, А.А. Ярвекюльг [73] показал, что в бухте Матсалу на западном побережье Эстонии морские и солоноватоводные виды преобладают при солёности выше 6 %, а пресноводные – при солёности ниже 4 %. Чем же определяется столь существенная роль значений солёности воды в разделении фаун? Очевидно, здесь проявляется исторически сложившаяся закономерность, связанная с особенностями осмотической регуляции, так как внутренняя среда организмов (кровь, лимфа и межклеточная жидкость) представляют собой раствор минеральных и органических веществ. У гиперосмотичных пресноводных и солоноватоводных животных деятельность осморегуляторных механизмов направлена на предотвращение избыточного проникновения пресной воды в ткани. Гипоосмотичные генетически морские животные характеризуются осморегуляторной активностью, направленной на предотвращение чрезмерного проникно-

вения высокосоленой воды из внешней среды. При этом физиологически пресноводные животные способны обитать и нормально размножаться в среде с солёностью в основном менее 5 %, а морские животные всегда обитают при солености более 5 %. На данную общую схему накладываются особенности соленостной толерантности,ственные для определённых стадий жизненного цикла гидробионтов. Например, икра и личинки балтийской трески нормально развиваются только при солёности не менее 11 – 12 % на значительных глубинах, в то время как молодые и взрослые особи способны обитать в мелководной прибрежной зоне при солёности до 5 – 6 % [11, 12, 20].

В целом всех рыб, обитающих в окрестностях и в пределах Балтийского моря, можно подразделить на 4 комплекса или группы в зависимости от степени их распространения в море и чувствительности к низким или высоким значениям солености [27]. К океаническому комплексу принадлежат стеногалинные виды, способные жить и размножаться только в условиях, близких к океаническим, при солености от 25 до 33 %. В данный комплекс входит большинство видов акулообразных хрящевых рыб, широко распространённых в Северной Атлантике, в частности сельдевая акула, морская лисица, серая акула, полярная акула и др. Кроме того, к данному комплексу, очевидно, можно отнести представителей семейства мерлузовых рыб, семейства аргентиновых, морских окуней из семейства скорпеновых и др. Распространение этих рыб ограничивается водами пр. Каттегат. Далее можно выделить группу рыб, имеющих океаническое происхождение, но в силу своих особенностей, сумевших сформировать относительно обособленные популяции в Балтийском море или способных сезонно проникать в его южные районы в период своих летних нагульных миграций из Атлантики. В этот *толерантный океанический* комплекс необходимо отнести тех рыб, для жизни или размножения которых необходима солёность не менее 12 – 14 %, т.е. балтийскую треску, балтийских камбаловых, скумбрию, пеламиду, кефаль, сингиль, рамаду, пятнистую колючую акулу, гладкого и колючего ската. Представители данного комплекса распространены от пр. Каттегат до района Готландской впадины в центральной части моря. Некоторые из них населяют преимущественно приповерхностные водные массы с солоноватой водой (европейская скумбрия, пеламида и др.), другие же

(балтийская треска, камбаловые) способны нагуливать массу в мелководной прибрежной зоне, но размножаются в придонных горизонтах глубоководных впадин с повышенной солёностью. Выделяется также группа генетически морских рыб, которые смогли сформировать многочисленные популяции не только в южных и центральных, но также в восточных и северных наиболее опреснённых районах моря. В этот *морской солоноватоводный комплекс* входят главным образом балтийская сельдь и шпрот. Данные виды рыб смогли наилучшим образом адаптироваться к неоднородным условиям Балтийского моря и получили здесь самое широкое распространение. Наконец, генетически пресноводные рыбы, такие как лещ, плотва, окунь, щука, и др. составляют *континентальный солоноватоводный комплекс*. Размножение данных видов успешно осуществляется при солености, не превышающей 3 %, однако взрослые особи некоторых видов, например судак (*Lucioperca lucioperca L.*), могут обитать и в районах с солёностью до 5 – 8 % [50]. Распространение популяций представителей данного комплекса ограничивается опресненными участками устьев рек и сильно опресненными вершинами заливов в Северной и Восточной Балтике.

Анализ относительного расположения границ рассматриваемых комплексов рыб, позволяет понять, что в условиях постепенно меняющихся значений такого важного экологического фактора среды, как соленость, и по причине высокой способности к адаптации, свойственной для большинства балтийских рыб, наблюдается перекрывание границ между соседствующими группами, что особенно характерно для районов Северной и Восточной Балтики. Здесь в состав сообществ входят представители как континентального, так и морского солоноватоводного комплексов рыб. Более заметные границы между комплексами проявляются в Южной Балтике, в частности, в районе устьев крупных рек Одры и Вислы, где в близком соседстве располагаются сообщества континентальных солоноватоводных и толерантных океанических рыб, в связи с чем, можно говорить о существовании здесь зоны экотона. Графически расположение ареалов рыб, принадлежащих к различным комплексам в зависимости от благоприятных для обитания значений солёности воды, а также положение зон экотонов показано на рис. 2.2.

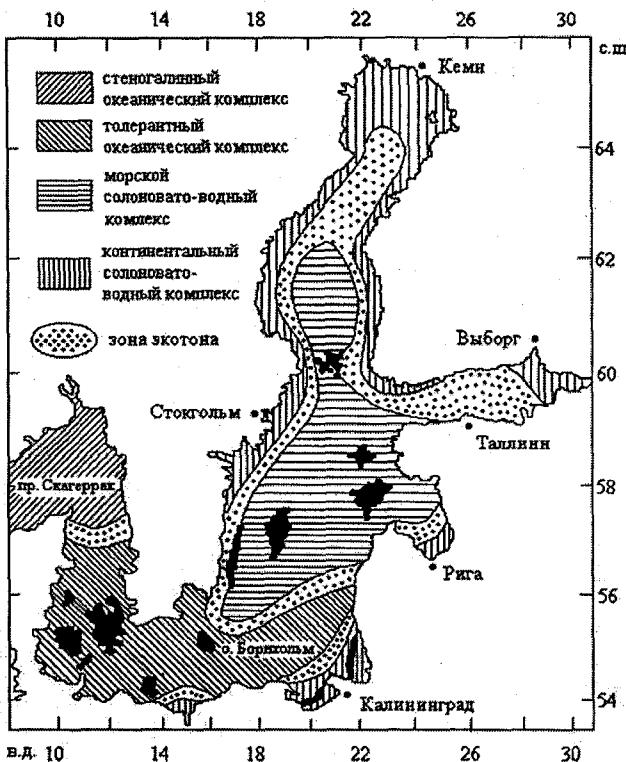


Рис. 2.2. Расположение зон экотонов в поверхностных водах Балтийского моря.

Как было показано в главе 1 настоящей работы, для Балтийского моря характерны значительные межгодовые и многолетние изменения гидрологических и океанологических условий, что способно оказывать влияние на урожайность и локализацию популяций рыб, принадлежащих к различным экологическим комплексам. Так, в периоды интенсивных и длительных вторжений в Балтику высокосолёных и обогащённых кислородом водных масс из Северного моря наблюдается расширение к востоку ареалов рыб, принадлежащих к толерантному океаническому комплексу, таких как балтийская треска, камбала – лиманда, скумбрия и др. В то же время ареалы континентальных солоноватоводных рыб, таких как судак,

лещ, плотва и др. сокращаются. При этом положение экотона как зоны соприкосновения представителей различных комплексов может заметно меняться.

Таким образом, мы видим, что экотон является весьма сложным природным объектом. Обязательным признаком существования экотона является наличие уникального смешанного биотического сообщества, формирующегося на границах нескольких соседствующих сообществ.

Промысловым значением в той или иной степени обладают около 45 видов рыб. Основу уловов (более 95 %) составляют морские виды. Улов континентальных солоноватоводных рыб составляют около 2 %, а проходных рыб – менее 1 % от общего.

## 2.2. Балтийская треска

Балтийская треска (*Gadus morhua callarias L.*) принадлежит к надотряду *Teleostei* – костистые рыбы, отряду *Gadiformes* – трескообразные, семейству *Gadidae* – тресковые, роду *Gadus* трески – *Gadus morhua L.*

Тресковые рыбы обычно имеют два или три спинных плавника и один или два анальных. Хвостовой плавник хорошо развит, отделён от спинного и анального или частично слит с ним. Брюшные плавники располагаются примерно над грудными. Все плавники не имеют колючих лучей. Жаберные отверстия крупные. На подбородке расположен усик. Тело покрыто мелкой циклоидной чешуёй. Длина взрослых рыб может превосходить 100 см [11,49,76].

Распространены тресковые в основном в морях Северного полушария, где их насчитывается 48 видов из 53 известных. Только 4 вида обитают в морях Южного полушария, а один вид (налим – *Lota lota L.*) – в пресных водах северных районов Европы, Азии и Америки. В особенности много тресковых в северной части Атлантического океана: здесь их 39 видов. В северной части Тихого океана тресковых рыб значительно меньше – только 5 видов, столько же видов характерно и для вод арктических морей.

Треска (*Gadus morhua*) – наиболее многочисленный вид семейства с самым широким ареалом, охватывающим бореальную (умеренную) область Атлантического и Тихого океанов, образует несколько подвидов (рис. 2.3.).

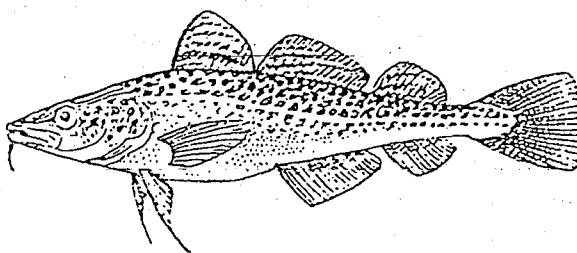
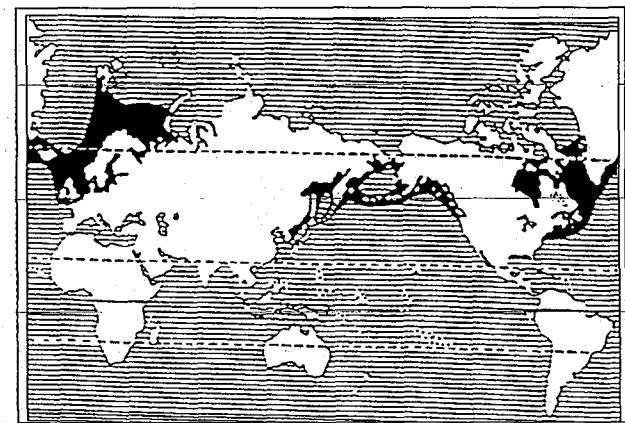


Рис. 2.3. Треска и области ее распространения.

В Атлантическом океане треска распространена от Бискайского залива до Гренландии, Шпицбергена и Новой Земли. В этом регионе она формирует несколько популяций, жизненный цикл которых связан с системами течений северной части Атлантического океана и прилегающих областей Северного Ледовитого океана. Под популяцией понимается совокупность особей одного вида, привязанных к характерным для каждой популяции районам размножения, нагула и зимовки. Особи, входящие в состав популяции, обладают свойственными им морфофизиологическими и экологическими особенностями. В результате проявляющейся в различной степени географической изоляции представители одной популяции могут отличаться по ряду признаков от особей другой популяции. Крупнейшими из них являются: популяции Аркто-норвежской трески, Се-

верного моря, Балтийского моря, Фарерская, Исландская, Гренландская, Лабрадорская, залива Святого Лаврентия и банки Джорджес. В Тихом океане треска известна от Берингова пролива до Калифорнии и Кореи [49, 55].

От других представителей своего семейства треска отличается более значительной выносливостью по отношению к солевым и температурным условиям жизни. Тем не менее треска предпочитает достаточно ограниченный температурный диапазон, находящийся в пределах от 0 до 15 – 20 °С и весьма чувствительна к колебаниям температуры. В условиях пониженной температуры у рыб нарушается работа осморегуляторного аппарата и деятельность желез внутренней секреции. Нарушение осмотического равновесия приводит к снижению активности, скорости движения и темпа дыхания. Южная граница распространения трески в основном совпадает с зимней поверхностной изотермии 10 °С, а северная определяется проникновением на север относительно теплых атлантических вод.

По образу жизни взрослая треска – крупный (некоторые особи океанического происхождения достигают длины 140 см и массы 35 кг) преимущественно придонный хищник. Молодые особи являются эврифагами, т.е. способны использовать все виды пищи – от планктона до сравнительно крупных рыб. Половозрелость достигается на 3 – 7-м году жизни.

Места нереста и постоянного обитания атлантической трески тяготеют к шельфовым районам. Нерест у трески ежегодный и происходит на глубинах до 100 м. Нерестовые миграции по районам и срокам достаточно устойчивы. Особи каждой популяции осуществляют нерест в свои, строго определённые сроки. Икра у трески свободно выметывается в толщу вод и является пелагической. Оплодотворенные икринки подхватываются течением и способны проплыть значительные расстояния. Однако для того чтобы икринки трески диаметром 1,2 – 1,8 мм, не имеющие жировой капли, свободно плавали в морской воде, требуется определенное соотношение температуры и солёности. Уменьшение плотности воды снижает плавучесть икринок, в результате чего они опускаются в более глубокие слои, как правило, обедненные кислородом и погибают [21, 22, 39].

Балтийская треска, согласно Г.В. Никольскому [49], близка к атлантической, от которой отличается меньшими размерами (самцы

обычно 35 – 40 см, самки – 40 – 50 см), меньшей жирностью, ранним созреванием и другими признаками. Треску Балтийского моря по биологическим, биохимическим и генетическим признакам [11, 12, 20, 76], а также по расположению основных мест нагула и нереста можно разделить на две популяции: западно-балтийскую (*Gadus morhua morhua L.*) и восточно-балтийскую (*Gadus morhua callarias L.*). Западная популяция распространена к западу от о. Борнхольм до южной части пр. Каттегат, а восточная обитает к востоку от о. Борнхольм до 63° с.ш. В условиях пониженной солёности Балтики нерест трески возможен преимущественно только в глубоководных впадинах, в частности в Борнхольмской и Готландской, ниже галоклина при солености не менее 10 %. Такая солёность позволяет икринкам оставаться на плаву в толще воды. Кроме того, икра и личинки трески обладают повышенной чувствительностью к недостатку растворенного кислорода. При его содержании ниже 1 – 2 мл/л развитие икры приостанавливается.

В целом балтийской треске свойствен ряд отличительных особенностей, рассмотрению которых посвящены дальнейшие разделы настоящей главы.

### **2.2.1. Структура популяции, рост и половое созревание.**

Как было указано выше, балтийскую треску по ряду признаков можно подразделить на западно-балтийскую и восточно-балтийскую популяции. Рассмотрим некоторые из этих признаков подробнее.

Многие важные результаты морфометрических исследований трески Балтийского моря были получены Н.П. Бирюковым [10, 11, 12]. Соответствующие пробы отбирались во время массового нереста трески в весенний период на всех основных нерестилищах. При этом предполагалось, что в период массового нереста изучаемые популяции должны быть представлены более однородными особями. Параллельно с морфометрическими исследованиями нерестовой трески осуществлялось ее массовое мечение. Анализ полученных результатов позволяет прийти к выводу о значительной обособленности трески Западной (Арконская впадина) и Восточной (Борнхольмская, Готландская, Гданьская впадины) Балтики. По большинству изученных признаков получены статистически достоверные различия между треской этих районов. С другой стороны, менее

существенные различия между треской смежных районов свидетельствуют о возможности некоторого смешения особей в период нереста. Тем не менее, основываясь на результатах расовых анализов и данных мечения трески, можно утверждать, что между популяциями трески Западной и Восточной Балтики значительного смешения практически не происходит, и они являются вполне обособленными. За естественную границу между этими популяциями можно принять порог, разделяющий Арконскую и Борнхольмскую впадины.

Треска западной части Балтийского моря, относительно атлантической и восточно – балтийской трески, характеризуется низким средним значением общего числа позвонков ( $51,09 \sim 0,074$ ), числа позвонков с неполными гемальными дугами ( $18,08 \sim 0,045$ ), а также меньшим средним значением высоты первого анального плавника ( $2,95 \sim 0,027$  см), количества лучей в первом спинном плавнике ( $13,97 \sim 0,045$ ) и более короткими отростками плавательного пузыря. Среди других биологических показателей можно указать на меньшие параметры длины тела и массы, а также на более простую возрастную структуру, в которой наблюдается несколько меньшее значение старших возрастных групп [11].

Основными факторами, способствующими возникновению отличительных особенностей у западно-балтийской трески, являются характерные условия обитания. Выше было показано, что Балтийское море представляет собой совокупность бассейнов, разделённых подводными хребтами. При рассмотрении распределения минимальной температуры, солёности, содержания растворённого кислорода, необходимых для нормального воспроизводства трески, обнаруживается, что уже восточнее порога, разделяющего Арконскую и Борнхольмскую впадины, эти условия треска может найти только во впадинах с глубинами не менее 60 м. В западных районах моря, где солёность и содержание в воде растворённого кислорода достаточны, размножение трески, как и в большинстве других районах Атлантики, происходит на меньших глубинах в период с февраля по май. Выше отмеченные особенности рельефа дна и гидрологии западной части моря оказываются достаточными для определенной локализации трески. Морфометрические и биологические различия являются результатом приспособления и отбора. Под приспособлением здесь понимается процесс изменения средних значе-

ний определенных признаков, например, числа позвонков вследствие увеличения или уменьшения солености и температуры, а под отбором – выживание наиболее жизнеспособных особей.

Треска Восточной Балтики, или, по выражению ряда авторов, собственно балтийская треска, характеризуется более высокими средними значениями общего числа позвонков, числа позвонков с неполными гемальными дугами, числа лучей в первом спинном плавнике и большими размерами отростков плавательного пузыря, а также большей высотой первого анального плавника.

К биологическим особенностям восточно-балтийской популяции трески относятся также несколько большие размеры и средняя масса, как общая, так и по отдельным возрастным группам, более сложная возрастная структура, весьма растянутый нерест, больший размер икринок, расположение нерестилищ в глубоководных впадинах [12, 20, 52].

Все приведенные морфометрические и биологические различия трески, очевидно, являются следствием ее приспособления к специфическим условиям ареала. Закономерное снижение солёности и температуры воды в восточном направлении, сопровождающееся уменьшением концентрации кислорода в придонных горизонтах и возрастанием мощности распресненного поверхностного слоя, вынуждает треску, размножаться только в глубоководных впадинах, а нагуливаться в более мелководных районах с достаточно высокой кормовой базой. Поэтому изменения параметров водной среды определили соответствующие изменения в строении органов, а наличие более значительных пространств для нагула стало способствовать развитию миграций, увеличению размера и массы восточно-балтийской трески относительно западно-балтийской, а также усложнению возрастной структуры популяции в целом.

В нерестовом стаде восточно-балтийской трески преобладают рыбы в возрасте 3 – 5 лет по проценту числа особей и 4 – 6 лет по проценту общей массы (табл. 2.1) длиной 35 – 55 и 40 – 60 см соответственно (табл. 2.2).

Возрастной и размерный состав нерестового стада изменяется по годам и зависит от численности поколений, пополняющих этот запас. В начальный период нереста на нерестилищах преобладают более взрослые особи, которые созревают раньше, в дальнейшем нерестилища заполняют молодые рыбы.

Таблица 2.1

**Возрастной и массовый состав запаса балтийской трески на нерестилищах в Восточной Балтике в среднем за период с 1960 по 1984 г. [55]**

Показатель	Возраст трески, лет									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
% общего числа особей	4,2	7,4	22,1	33,7	21,1	7,9	1,9	1,0	0,6	0,1
% общей массы	0,3	1,7	10,7	28,4	28,4	15,6	4,8	4,7	4,7	0,7

Меньшие размеры балтийской трески по сравнению с близкими ей подвидами можно объяснить ранним наступлением половой зрелости в условиях относительно теплого Балтийского моря и дальнейшим последовательным снижением темпов ее роста. Подтверждением этого является тот факт, что до четырехлетнего возраста средняя длина возрастных групп атлантической трески почти одинакова. Разница проявляется только по достижении 4 лет, т.е. к тому времени, когда балтийская треска в массе созревает, и темп ее роста замедляется.

Таблица 2.2

**Размерный и массовый состав запаса балтийской трески на нерестилищах в Восточной Балтике в период нереста в среднем за период с 1960 по 1984 г. [55]**

Показатель	Длина трески, см											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
% общего числа особей	4,3	2,0	3,8	5,7	7,2	12,5	20,6	18,2	11,5	6,4	4,1	2,3
% общей массы	0,1	0,1	0,5	1,2	2,5	6,9	17,6	19,7	16,9	12,4	10	6,8

Характер роста трески в Балтийском море различен. Можно выделить несколько групп рыб с различным приростом на том или ином году жизни. Разница в приросте на первом году жизни объясняется неодновременностью нереста трески и вследствие этого различного по продолжительности периода питания ее молоди.

Наибольшую длину в период первых четырех лет жизни имеют особи с наиболее быстрым ростом на первых годах жизни. Такая треска в период нереста, как правило, составляет не менее 75 % уловов. Если же на первом и последующих годах рост был замедлен, то у таких особей отставание в размерах сохраняется и в дальнейшем.

Характерной особенностью балтийской трески является также её интенсивный рост не в летние месяцы, что характерно для большинства видов рыб, а в октябре – ноябре, в период особенно интенсивного питания. В последующие месяцы, т.е. в январе – июне, когда происходит созревание и нерест, скорость роста трески существенно снижается и на отолитах у большинства особей появляются годовые кольца [11].

Средние длина и масса трески отдельных возрастных групп меняются по районам, периодам лет и годам. При этом заметно, что в первой половине 1960-х годов треска Борнхольмского района в возрасте 2 – 3 лет обладала наибольшими параметрами средней длины и массы, чем во все последующие годы.

Массовое созревание самок восточно-балтийской трески происходит в возрасте 3 – 4 лет при длине 35 – 40 см, самцов – в возрасте 2 или 3 лет при длине 25 – 30 см. Западно-балтийская треска созревает несколько ранее: при длине 38,7 см в возрасте 2,7 лет становятся половозрелыми 50 % самок и при длине 35,2 см в возрасте 2,2 лет – 50 % самцов [11,55].

Возрастной, размерный и массовый состав трески отличается по районам. Так, в период нереста наиболее крупные зрелые особи держатся на нерестилищах в Восточной Балтике, в Готландской котловине. В мелководных Вентспилском, Лиепайском и Клайпедском районах остаётся преимущественно молодая незрелая рыба.

Созревание трески по районам показано в табл. 2.3. Отмечается несколько более раннее созревание в районе Борнхольмской впадины и Кильской бухты.

Таблица 2.3

**Созревание балтийской трески (для 50 % самок и 50 % самцов)**  
**по районам моря [11]**

Район	Возраст созревания, лет			Длина зрелости, см		
	самец	самка	в среднем	самец	самка	в среднем
Кильская бухта	2,2	2,7	–	35,2	37,8	–
Мекленбургская бухта	2,6	3,08	2,89	40,9	45,1	43,3
Арконская впадина	2,52	3,15	2,9	38,6	45,9	43,0
Борнхольмская впадина	2,42	3,14	2,77	30,3	373	33,5

Темп созревания трески меняется по годам (см. табл. 2.4) и зависит от интенсивности ее роста в годы, предшествующие созреванию. В случае, если условия среды были благоприятными и способ-

ствовали росту, пополнение промыслового стада впервые созревшими трехгодовиками возрастает. При ухудшении роста увеличивается количество рыб, впервые созревающих в возрасте 4 лет.

Таблица 2.4

Темп созревания самцов и самок балтийской трески с 1956 по 1961 г.  
рождения, % от общего числа особей [55].

Год про- мысла	Самки года рождения					
	1956	1957	1958	1959	1960	1961
1961	99	95	64	5	—	—
1962	89	89	74	64	10	—
1963	—	—	87	82	68	16

Год про- мысла	Самцы года рождения					
	1956	1957	1958	1959	1960	1961
1961	97	99	98	61	—	—
1962	—	84	87	89	60	—
1963	—	92	97	96	91	68

## 2.2.2. Питание и пищевые взаимоотношения

Треска имеет широкий спектр пищевых объектов. Она потребляет *Mysidacea* (*Mysis mixta*), *Amphipoda* (*Pontoporeia affinis*, *P. femorata*, *Gammarus salinus*), *Cumacea* (*Diastylis rathkei*), *Polychaeta* (*Hirudothea sarsi*), *Isopoda* (*Mesidotea entomon*), *Priapuloidae* (*Halicryptus spinulosus*), *Decapoda* (*Crangon crangon*), *Sprattus sprattus* b., *Clupea harengus* m., *Pomatoschistus minutus*, *Osmerus eperlanus*, *Enchelyopus cimbrius*.

В зависимости от состава пищи, особенностей питания, расположения и характера роста у трески выделяются три размерные группы: от 5 до 20 см, от 20 до 30 см и более 30 см.

Молодь длиной менее 20 см преимущественно питается *Mysis mixta* и *Hirudothea sarsi*, которые составляют до 85 % пищи (табл. 2.5). У трески длиной 20 – 30 см доля *Mysis mixta* в питании снижается до 40 %, а доля *Mesidotea* и рыбы возрастает до 30 – 40 %. Основные изменения в составе пищи происходят весной. Характер роста и потребности организма в питательных веществах различны для каждого периода жизни рыбы. Годовики трески расходуют энергетические ресурсы в основном на увеличение длины тела, прирост массы на единицу длины у них невелик и составляет 0,3 – 0,6 г/см. По достижении двухлетнего возраста главная функция организма заключается уже в обеспечении формирования и созрева-

ния гонад. Этот период характеризуется увеличением прироста массы на единицу длины тела до 0,7 – 0,9 г/см. При этом наблюдается расширение спектра питания трески, в её рационе появляются более крупные объекты [11, 24, 55, 76].

Таблица 2.5.

**Состав пищи трески (% общей массы) различной длины по сезонам [55]**

Подрайон	Компонент	Длина, см											
		5 – 20 см				20 – 30 см				Более 30 см			
		Сезоны											
		I	III – IV	V – VI	IX – XII	I	III – IV	V – VI	IX – XII	I	III – IV	V – VI	IX – XII
28	<i>Mesidotea</i>	74	54	42	69	44	14	10	41	18	5	4	17
	<i>Mesidotea</i>	2	3	6	5	24	42	25	27	38	45	26	43
	<i>Pontoporeia</i>	7	6	7	10	10	4	26	13	4	2	6	10
	<i>Harmothae</i>	12	32	29	8	10	25	17	8	7	10	10	4
	Прочие беспозвоночные	4	4	8	5	5	1	4	3	1	1	–	1
	Сельдь	–	–	–	–	2	5	3	1	15	15	20	12
	Шпрот	–	–	–	1	3	8	14	4	12	17	26	9
	Прочая рыба	1	–	8	3	2	1	1	3	5	5	8	3
26	<i>Mesidotea</i>	47	32	15	54	21	14	1	39	14	4	2	15
	<i>Mesidotea</i>	–	2	4	4	30	15	14	16	24	12	12	32
	<i>Pontoporeia</i>	15	2	8	17	3	2	5	3	1	2	1	1
	<i>Harmothae</i>	30	62	66	15	21	36	55	20	14	17	30	17
	Прочие беспозвоночные	4	1	5	4	4	1	4	10	1	–	4	1
	Сельдь	–	–	–	–	1	6	6	3	15	17	10	13
	Шпрот	3	1	1	4	16	25	15	6	26	43	31	12
	Прочая рыба	1	–	1	2	4	1	1	3	5	5	11	9

*Примечание.* Знак “–” обозначает, что данного пищевого компонента в рационе трески не обнаружено.

В зависимости от питания молоди трески и ее распределения можно выделить следующие периоды:

1. Осеннее – зимний. Основной пищей молоди являются *M. mixta*, которые составляют 50 – 70 % рациона. Наиболее интенсивно этот вид выедается в акватории Готландской впадины (международный статистический подрайон промысла 28). Южнее, в окрестностях Гданьской впадины (международный статистический подрайон промысла 26), их доля в рационе снижается.

2. Весеннее – летний. Треска питается преимущественно *H. sarsi*, *H. Mixta*, *Mesidotea* и рыбой. Доля *H. sarsi* и *M. mixta* в подрайоне 26 составляет в среднем 50 и 15 % пищи соответственно. В

подрайоне 28 более интенсивно выедается *M. mixta* (39 % пищи), а значение *H. sarsi* снижается до 30 %.

Проявляются различия в накормленности и составе пищи по глубинам моря. В марте – апреле молодь длиной 5 – 12 см интенсивно питается на глубинах выше 70 м червями. Треска длиной 20 – 30 см распространена в зоне глубин 50 – 90 м и поедает *Mesidotea* и рыбу. В мае – июне активное питание у молоди трески происходит в основном на глубинах менее 70 м, что связано с перемещением беспозвоночных и рыбы в прибрежные районы моря. Состав пищи и накормленность трески различаются по годам и во многом определяются температурным режимом моря и суровостью зим. Так, у молоди длиной 5 – 20 см максимальная накормленность наблюдается после средних и суровых зим. Роль мизид в питании в холодные годы в 1,5 – 2 раза выше, чем в теплые. Треска длиной 20 – 30 см, обладая более широким спектром питания, потребляет различные по экологии организмы, при этом зависимость интенсивности питания от температурных условий четко не проявляется [55].

Для этапа наступления половой зрелости трески свойствен особый состав корма и своя специфика пищевых отношений. По достижении длины 30 см и возраста примерно 3 лет треска становится хищником и начинает потреблять в основном сельдь (*Clupea harengus membras L.*) и шпрот (*Sprattus sprattus balticus L.*), из беспозвоночных преимущественно *Mesidotea*. Треска длиной более 40 см уже практически не питается мелкими беспозвоночными, такими, как *M. mixta*, *Pontoporeia*, *H. sarsi*. Доля шпрота в пище у обеих размерных групп одинакова [11,55].

Питание и распределение половозрелой трески различаются по сезонам. В осенний период треска обитает в прибрежных районах и питается преимущественно сельдью и *Mesidotea*. Зимой треска также ещё распространена в прибрежной зоне и состав пищи по сравнению с осенью меняется мало. Только в отдельные годы наблюдается незначительное возрастание доли шпрота. Интенсивность питания зимой определяется условиями нагула в предшествующий сезон: после активного осеннего нагула она снижается, а при слабой накормленности осенью возрастает.

К весне нерестовая треска смещается к нерестилищам, а преднерестовая еще нагуливается у побережья. В этот период накормленность трески ниже, чем осенью и зимой. Состав пищи различа-

ется по годам и районам и определяется количеством потребления сельдевых рыб в годы с разным гидрологическим режимом. В годы аэрации глубинных вод, т. е. в периоды значительного по продолжительности и объёму поступления североморских вод в Балтику, треска, обитающая на нерестилищах, питается главным образом шпротом (до 83 % пищи); оставшаяся в прибрежных районах поедает *Mesidotea*, сельдь и шпрот (доля последнего только 27 %). В годы стагнации, т.е. при ослаблении процесса адвекции атлантических вод в Балтийское море, доля рыбы в рационе уменьшается, накормленность трески на глубинах также снижается. В то же время в более мелководных прибрежных районах интенсивность питания возрастает и основной пищей является *Mesidotea* и сельдь.

В годы частичной аэрации накормленность трески на глубинах ниже, чем в годы аэрации. В этот период основным кормом является шпрот (до 30 % рациона), сельдь (40 % рациона) и *H. sarsi*. В прибрежных районах накормленность выше, чем на нерестилищах [55].

Летом нерестовая треска обитает на нерестилищах, а отнерестившаяся – в прибрежных районах. Накормленность взрослой трески, так же как и молоди, на мелководьях выше, что объясняется не только возросшей интенсивностью питания посленерестовой трески, но и условиями питания (летом наиболее продуктивная зона моря смещается на меньшие глубины).

Обеспеченность пищей является одним из факторов среды, определяющих эффективность генеративных процессов. В годы аэрации глубинных слоев условия для нереста трески могут быть благоприятными, однако результативность нереста может быть различной. Высокая урожайность поколений отмечается при благоприятном нагуле предшествующей осенью. В холодные зимы и при худших условиях осеннего нагула эффективность нереста ниже.

В течение суток треска питается с разной интенсивностью. У молоди (длина 10 – 20 см) проявляются два пика в питании – утренний и вечерний. У более взрослых рыб длиной 20 – 30 см период активного питания несколько растянут, максимум накормленности наблюдается вечером. В целом время питания определяется составом и экологией пищевых объектов и зависит от периодов их наибольшей концентрации и доступности. *M. mixta* треской поедается утром и вечером, *Mesidotea* – днем и вечером, сельдь и черви –

днем, шпрот – ночью (в пелагиали) и в первой половине дня (в придонных слоях) [10,11].

Треска, являясь хищником, способна оказывать значительное влияние на численность популяций шпрота и сельди. Шпрота треска в среднем за год потребляет около 100 – 150 тыс.т, что составляет до 35 % запаса шпрота в 1978 – 1979 гг. Выедание треской шпрота возрастает в периоды аэрации глубинных вод в Готландской впадине. В это время воздействие трески, видимо, является главной причиной естественной смертности шпрота. Потребление треской сельди оценивается ежегодно в 120 тыс.т. Изъятие сельди возрастает при появлении её высокоурожайных поколений. При малом запасе молодой сельди в рационе трески увеличивается доля шпрота и беспозвоночных [11, 55].

Треска также интенсивно питается *Mesidotea* и *H. sarsi*, которые другими рыбами используются слабо. Известно, что чрезмерное развитие этих организмов способно оказывать отрицательное влияние на других представителей кормового бентоса. Таким образом, истребляя всеядную изоподу и хищного *H. sarsi*, треска регулирует их численность и способствует поддержанию устойчивости водной экосистемы.

### 2.2.3. Воспроизводство трески

Географическое положение и гидрологические условия (опреснённость, двухслойность водных масс, ограниченные связи с Атлантикой, особенности рельефа дна, значительная протяженность с юга на север) Балтийского моря, являющегося окраиной ареала трески, определили характерные особенности размножения трески в этом водоёме.

Треска в период нереста особенно требовательна к солености воды и содержанию растворенного кислорода. В связи с этим, районы её нереста в Балтийском море расположены в придонных слоях глубоководных впадин, где отмечается повышенная солёность, необходимая для развития пелагических икринок и более постоянная температура воды. Однако недостаток кислорода в глубинных слоях приводит к ограничению нерестового ареала. Акватория, пригодная для нормального развития личинок трески, составляет около 27 % всей площади открытого моря (см. рис. 2.4.).

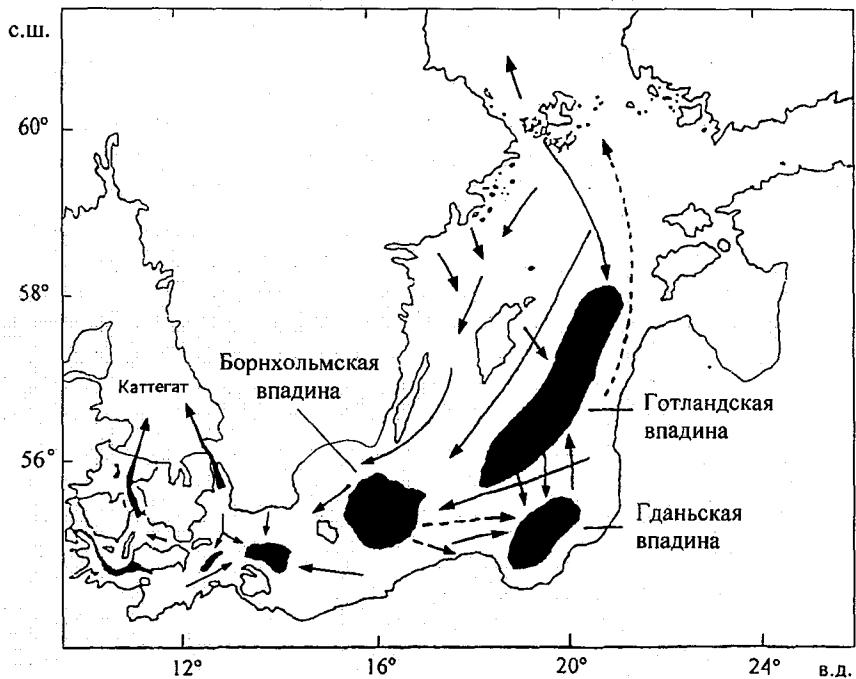


Рис. 2.4. Основные нерестилища трески в Балтийском море [76] Штриховые стрелки обозначают дрейф личинок трески, сплошные – ее нерестовые миграции.

Основные нерестилища западно-балтийской трески располагаются в Арконской впадине, к северу от о. Рюген, в Мекленбургской бухте, Кильской бухте, а также в проливе Малый Бельт. Нерест осуществляется в феврале – марте в западных районах и в марте–апреле в районе Арконской впадины. Часть стада способна мигрировать для нереста в южную часть пр. Каттегат. Восточно-балтийская треска нерестится в Борнхольмской впадине, Слупском желобе, Гданьской и Готландской впадинах. Согласно Г.В. Грауман [20,21], наибольшая плотность икры характерна для Борнхольмской впадины. Здесь поступление соленых североморских вод и соответственно аэрация придонных горизонтов нерестилищ наблюдается значительно чаще, чем в восточных и северо-восточных районах моря. Этим можно объяснить свойственные для этого района менее резкие колебания численности икры и большую выживаемость эмбрионов. В целом по морю появление максимумов численности ик-

ры и личинок трески связано с годами адвекции североморских вод. В периоды стагнации, т.е. ослабления потока этих вод, количество икры и личинок снижается, возрастает смертность эмбрионов. В среднем в годы аэрации численность икры под 1 м<sup>2</sup> поверхности в два раза выше, чем в годы стагнации, а численность личинок выше более чем в три раза [11, 20]. Поступление североморских вод происходит почти ежегодно, но объём их различен. В периоды мощных притоков происходит обновление вод одновременно по глубинному и придонному слоям. В периоды слабого поступления обновление осуществляется только по глубинному слою и затрагивает преимущественно районы, расположенные непосредственно у зоны Датских проливов. В годы повышенного притока солёных вод нерестовые площади трески расширяются и соответственно улучшаются условия воспроизводства, в годы меньшего притока они сокращаются, и условия для нереста и развития эмбрионов и личинок становятся неблагоприятными, в особенности в северо-восточных районах моря [21, 22].

Величина нерестилищ трески меняется не только по годам, но и по месяцам. В начале нерестового сезона икра трески концентрируется на незначительной акватории над большими глубинами (свыше 80 м) в Борнхольмском и Штолпенском районах. В марте район икрометания простирается до Ирбенского пролива, икра распределается над широкой зоной глубин от 90 до 170 м, возрастает ее численность под 1 м<sup>2</sup> поверхности. В марте–апреле икра распространяется уже до Сааремо–Хийумааского района. Репродуктивная область включает существенно более широкую зону глубин по сравнению с предыдущими месяцами (от 50 до 200 м). Наиболее широкая зона нереста отмечается в мае – июне. К июлю и особенно в августе нерестовый ареал трески начинает сокращаться, за исключением Борнхольмского района, по причине снижения интенсивности икрометания. Наиболее длительный период икрометания трески наблюдается в самых глубоководных районах нерестилищ с повышенной солёностью. В начальный и заключительный периоды нереста производителей немного и они размножаются на небольшой акватории. В разгар икрометания треска начинает осваивать более мелководные районы с глубинами 50 – 60 м около о. Борнхольм, а также районы в центральной и северо-восточной части моря с глубинами 70 – 80 м с меньшей толщиной соленых вод. Такой характер

распределения трески является, по-видимому, следствием ограниченности оптимальных нерестовых площадей в Балтике.

Нерест трески в связи с большой протяжённостью Балтийского моря с юга на север происходит в разные сроки и может длиться в некоторых районах до 4 – 6 мес. Так, в Кильской бухте икра трески обнаруживается уже в январе [11, 22, 55], в Арконской и Борнхольмской впадинах – в феврале. В целом, по мере продвижения на восток и северо-восток икрометание начинается в более поздние сроки – в марте – апреле.

Большая растянутость нереста трески является приспособлением к эффективному использованию нерестовых площадей и обеспечивается порционным икрометанием и неодновременным созреванием производителей.

В условиях Балтийского моря, как уже отмечалось, треска нерестится в придонных слоях, ниже галоклина при солености не менее 10 %. Такая величина солёности позволяет икринкам поддерживать плавучесть в толще воды. При более низкой солености икринки опускаются к дну и прекращают свое развитие, даже в случае предварительного оплодотворения. Однако в результате проведения экспериментальных исследований было установлено [22, 75, 92], что икра трески может пребывать во взвешенном состоянии при солености не менее 11 %., причём ее плавучесть возрастает с увеличением размеров, за счет чего большие икринки могут подниматься в верхние слои, достигая уровня 50 – 70 м. Ещё одним примером приспособления трески к размножению в опреснённых водах Балтики является изменение диаметра ее икры. Диаметр икры у балтийской трески оказался заметно большим по сравнению с популяциями других морей (табл. 2.6.). Например, если в Норвежском море при солёности воды 34 %., диаметр икры трески составляет 1,20 – 1,47 мм, то в юго-восточной и восточной частях Балтийского моря, при солёности 11 – 13 % уже 1,5 – 2,00 мм [11, 55]. Увеличение размера икры обеспечивает икринкам лучшую плавучесть и нормальное развитие в водах с меньшей солёностью и плотностью. Только благодаря способности икры изменять свою плавучесть, треска в Балтийском море смогла освоить новые районы обитания и поддерживать в них максимально возможную численность.

В пределах самой Балтики изменение диаметра икры также достаточно наглядно. В западной части моря икра развивается в ус-

ловиях довольно большой солёности (16 – 20 %) и размеры икры меньше, чем в восточных и северо-восточных районах при солёности 11 – 13 % (табл. 2.7).

Таблица 2.6

**Изменение диаметра икры трески в различных морях [55]**

Район нереста	Соленость, %	Диаметр икры, мм
Норвежское море	34	1,20 – 1,47
Баренцево море	34	1,11 – 1,68
Северное море	33	1,20 – 2,54
Белое море	30	1,20 – 1,54
Балтийское море юго-западная часть	13 – 20	1,30 – 1,80
юго-восточная и восточная части	11 – 13	1,50 – 2,00

Таблица 2.7

**Изменение среднего размера и количества крупной икры балтийской трески в течение сезона размножения на основных нерестилищах [11]**

Месяц	Борнхольмская впадина		Гданьская впадина		Готландская впадина	
	Размер икры, мм	Кол-во крупной икры, %	Размер икры, мм	Кол-во крупной икры, %	Размер икры, мм	Кол-во крупной икры, %
Март	1,8	67	1,82	52	1,80	53
Апрель	1,77	54	1,80	47	1,80	47
Май	1,71	34	1,75	42	1,76	39
Июнь	1,67	23	1,71	34	1,7	32

Наблюдающиеся различия икры по размерам сказываются на её распределении в толще воды. Вертикальное распределение икры трески в границах глубинного слоя с повышенной солёностью неравномерно и зависит не только от плотности воды в этом слое, но и от диаметра выметанной икры. В соответствии с этим икра распространяется на разном расстоянии от грунта. Как правило, более крупные икринки располагаются выше мелких. Распределение икры по вертикали определяется её плавучестью. Крупные икринки (диаметром 1,8 – 2,00 мм) обладают меньшей плотностью, и, следовательно, более высокой плавучестью, чем мелкие (1,5 – 1,7 мм), при этом их выживаемость лучше, так как они развиваются выше от дна в условиях более благоприятного кислородного режима.

В период нерестового сезона соотношение крупной и мелкой икры существенно меняется в связи с изменением размерного состава нерестящейся трески (табл. 2.7). В марте – апреле преобладает крупная икра, что в особенности характерно для нерестилища в Борнхольмской впадине, где ее доля достигает 67 %. В июне возрастает количество мелкой икры, а доля крупной на всех основных нерестилищах в это время не превышает 35 %.

Толщина слоя распространения икры способна меняться по районам и годам в широких пределах (от 5 до 70 м) и зависит от параметров солёного слоя, пригодного для воспроизведения. В годы аэрации толщина солёного, насыщенного кислородом слоя возрастает до 30 – 70 м, в годы стагнации сокращается до 5 – 15 м.

Согласно данным ряда авторов, количество кислорода, необходимое для благоприятного развития икры и личинок трески, составляет не менее 1 мг/л [11,12]. Однако Г.Б. Грауман [21,25] указывает, что при таком содержании кислорода смертность икринок очень высока. Данные, полученные в результате последних экспериментов, позволяют прийти к выводу, что при концентрации кислорода ниже 2,3 мг/л развитие икринок далее III стадии не происходит. Г. Оттерлинд [94,95] несколько ранее показал, что для нормального существования трески содержание растворённого кислорода должно быть не менее 2,7 мл/л. В условиях меньшей концентрации кислорода состояние трески ухудшается, а при его содержании менее 0,8 мг/л она погибает. Наконец, одни из самых последних экспериментальных исследований на икре трески из Готландской впадины при пяти различных уровнях содержания кислорода от 1,4 до 2,8 мг/л и двух уровнях солёности (рис. 2.5) показали, что икра может оставаться живой при низких концентрациях кислорода в течение двух дней. Но смертность икры резко возрастает при содержании кислорода менее 2,4 мг/л. Также четко заметны изменения в выживаемости личинок трески для двух стадий, только что вылупившихся и в возрасте четырех дней (рис. 2.6). У обоих стадий личинок, уменьшение толерантности к низкому содержанию кислорода особенно ярко проявляется при переходе от 3,0 к 2,5 мг/л. Исходя из этого, авторы делают вывод, что предел выживаемости балтийской трески находится в рамках от 2,5 до 3,0 мг/л. Соленость при различных уровнях содержания кислорода в большей степени влияет на выживаемость икры, чем личинок. Наблюдается повышение

смертности икры при солености 11 ‰ по сравнению с 15 ‰, в то время как в контрольном опыте при полном кислородном насыщении различий в выживаемости икры, находящейся в условиях различной солёности, не отмечено. Следовательно, икра трески более чувствительна к кислороду при низкой солености, по сравнению с личинками. Различий в толерантности к содержанию кислорода у икры и личинок разных стадий не обнаружено.

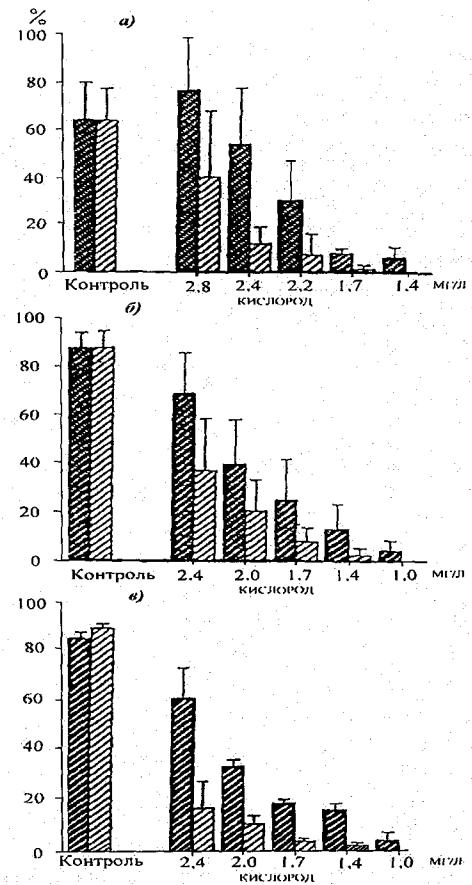


Рис. 2.5. Выживаемость икры балтийской трески за 48 ч при снижениях уровнях содержания кислорода и температуре воды 7 °C, при солёности 11 ‰ (светлая штриховка) и 15 ‰ (темная штриховка) в возрасте двух дней (а), четырёх дней (б) и семи дней (в) [75]. Тонкие линии показывают стандартные отклонения в опытах.

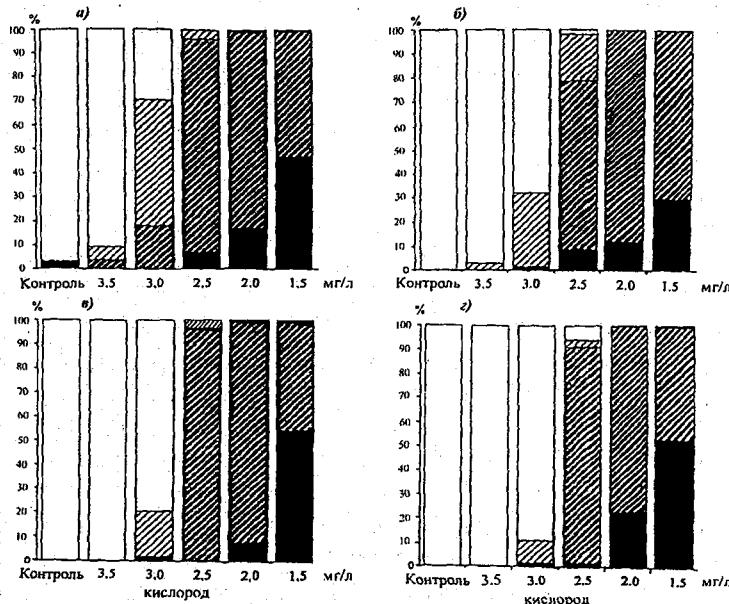


Рис. 2.6 Выживание и состояние личинок балтийской трески (умирающей, малоактивной, активной) через 48 часов при температуре 7°C [75]

*а* – только что выпутившиеся личинки при 11%; *б* – только что выпутившиеся при 15%; *в* – в возрасте 4 дней при солёности 11%, *г* – в возрасте 4 дней при солёности 15%. Чёрные столбики соответствуют мёртвым личинкам, сильно заштрихованные – умирающим, слабо заштрихованные – малоактивным, не заштрихованные – активным личинкам трески.

Самыми благоприятными температурными условиями для нереста трески считаются 4 – 5 °C [55]. Однако именно солёность и концентрация растворённого кислорода являются основными определяющими факторами. В свою очередь, солёность и содержание кислорода ниже галоклина находятся в зависимости в основном от колебаний интенсивности адвекции североморских вод через Датские проливы. В периоды стагнации наблюдается значительное сокращение нерестового ареала. Икра отсутствует над большими глубинами из-за недостатка кислорода, а также на окраинах нерестилищ по причине малой солености. Максимальная численность икры (120 экземпляров под 1 м<sup>2</sup>) над большими глубинами превосходит максимальную численность над меньшими (2 экземпляра под 1 м<sup>2</sup>) глубинами в 60 раз [55].

Первые предличинки на нерестилищах появляются в марте – апреле, примерно на 20 сут. позднее, чем икра, что связано с длительностью инкубационного периода. Только что выклонувшиеся предличинки трески имеют, как правило, от 3,0 до 4,2 мм в длину. Тело узкое, булавовидное, окаймлено эмбриональной плавниковой складкой. Голова прижата к желточному мешку овальной формы, его длина 1,8 – 2,0 мм, высота 1,2 – 1,3 мм. Ротовой щели нет. Глаза предличинок полностью пигментированы. Первоначально предличинки пассивно парят в придонных слоях впадин. Большой желточный мешок не позволяет совершать им активных движений. Рассасывание желтка происходит через 6 – 10 сут; длительность этого периода находится в зависимости от температуры воды. К этому времени длина предличинок увеличивается до 4,5 – 5,0 мм [11].

Распределение личинок трески по вертикали, в отличие от распределения икры, не ограничивается фактором солёности, и они способны обитать по всей толще вод при солёности от 7 до 20 %. Проявляется неоднородность размеров личинок по вертикали. Предличинки держатся в придонных слоях впадин, по мере роста они постепенно поднимаются в верхние слои, богатые кормовым зоопланктоном. Переход личинок из придонных в поверхностные воды сопровождается соответствующими изменениями условий среды: уменьшается солёность и плотность, возрастает содержание кислорода. Средняя длина личинок в придонных слоях в апреле – мае составляет 4,0 – 4,5 мм, в верхних – 5,1 – 6,5 мм.

Распределение личинок по акватории моря на отдельных нерестилищах достаточно неравномерно и определяется гидрометеорологическими условиями, в частности течениями, эффективностью нереста и обеспеченностью пищей. В начале нереста численность личинок в целом не велика, они сконцентрированы преимущественно в глубоководной зоне. В разгар нереста (апрель – май) ареал личинок существенно расширяется и превышает ареал икры. Распределение личинок по глубинным зонам определяется их возросшей численностью и подвижностью.

Наибольшие колебания численности икры и личинок под 1 м<sup>2</sup> наблюдаются в центральном районе Балтийского моря. Максимальное количество личинок отмечается над глубинами от 150 – 180 м (до 23 экземпляров под 1 м<sup>2</sup>), минимальное (1 экземпляр под 1 м<sup>2</sup>) – над глубинами 50 – 70 м. В летний сезон по сравнению с весенним численность личинок над меньшими глубинами возрастает.

Для нагула личинки используют верхние, самые динамичные слои воды, подвергаясь при этом большому сносу течениями. В период нереста преобладают ветры западных и юго-западных направлений, поэтому основная часть личинок с нерестилищ Западной, Центральной и Южной Балтики дрейфует в восточные и северные районы, что положительно сказывается на их росте и развитии. Показатель "количество личинок в % от численности икры" возрастает в направлении от южных районов к северо-восточным (в летний период: Борнхольмский район – 10,0 %, Готландский – 30,9 %, Сааремо – Хийумааский – 47,6 %), несмотря на то, что выживание эмбрионов и их численность заметно выше в южных [11,22,25].

Объекты питания личинок зависят от их размеров. Личинки размером 4,0 – 4,5 мм на 70 % питаются фитопланктоном, достигая длины 4,6 – 7,0 мм, начинают потреблять науплий копепод, которые могут составлять до 80 % их рациона, а личинки длиной 7,1 – 11,0 мм, кроме науплий питаются еще и *Synchaeta* (до 39 % рациона) [11, 55]. Обеспеченность личинок пищей является важным фактором в формировании урожайности поколений трески. Наступление после суворой зимы очень тёплого лета будет способствовать развитию фито- и зоопланктона, что благоприятно скажется на развитии личинок. В холодный весенне-летний период численность планктона, как правило, ниже и личинки могут не получить достаточного количества пищи.

В целом, численность поколений балтийской трески в основном определяется выживаемостью ее икры. В годы формирования урожайных поколений трески (1965, 1967, 1972, 1976, 1977) на всех основных нерестилищах выживаемость её икры составляла 11,0 – 16,5 %, тогда как для поколений низкой урожайности (1958, 1968, 1982) она колебалась в пределах 1,5 – 5,8 %. Между выживаемостью икры трески и урожайностью соответствующих поколений установлена достаточно тесная статистическая связь ( $r = 0,70$ ). Таким образом, начальные стадии эмбрионального периода является определяющим этапом жизненного цикла: смертность икры может превышать 98 %. Основное количество икры гибнет на I и II стадиях развития. В конце эмбрионального периода гибель икры практически прекращается. Наблюдается общее увеличение смертности икры на нерестилищах по направлению с юга на север, что определяется соленостью и содержанием кислорода в придонных слоях, снижающимися в северо-восточном направлении.

### 2.3. Балтийские камбалообразные рыбы

В состав обширного отряда камбалообразных (*Pleuronectiformes*) входит около 500 видов рыб, объединённых в шесть семейств. Характерной особенностью взрослых особей является несимметричная, сильно сжатая с боков форма тела. Оба глаза расположены на одной стороне тела, которая имеет более или менее выраженную окраску, часто с пятнистым узором. Противоположная сторона тела, как правило, светлая. Брюшные плавники располагаются впереди грудных. Спинные и анальные плавники длинные. Плавательный пузырь у взрослых рыб отсутствует. Размеры и масса тела различны. Длина мелких видов не превосходит 10 см, а их масса составляет всего несколько граммов. К таким камбалам принадлежит, в частности, аргоглоссус Кесслера (*Arnoglossus kessleri*), распространённый в прибрежной зоне Средиземного и Черного морей. В то же время размер самых крупных представителей отряда, например, таких как атлантический белокорый палтус (*Hippoglossus hippoglossus L.*), может превышать 400 см. Масса таких особей составляет обычно около 300 кг [17,49].

Камбалообразные – морские относительно малоподвижные донные и придонные рыбы, обитающие преимущественно в прибрежной зоне. Только очень немногие виды способны обитать на глубинах до 1000 м. Отдельные виды способны заходить в реки. Протяжённых миграций не совершают. Сезонные перемещения связаны с отходом от берега на зимовку и подходом к берегу в весенний период для размножения. Большинство камбалообразных обитает в тропических и субтропических водах. Наибольшего разнообразия достигают в Тихом океане. В морях России обитают примерно 36 видов камбалообразных, причём около 30 из них встречается в дальневосточном регионе. В Баренцевом, Белом, Балтийском и Черном морях обитают только 10 видов камбалообразных, а в арктических морях распространён всего один вид – полярная камбала (*Liopsetta glacialis Pall.*).

По характеру питания камбалообразные подразделяются на две группы: хищные, питающиеся в основном рыбой (палтусы, калканы), и бентофаги (речная и морская камбалы и др.), питающиеся преимущественно донными беспозвоночными – ракообразными, моллюсками и червями [50, 76].

Размножение камбал осуществляется, как правило, весной и летом, но у некоторых северных видов происходит осенью или даже в зимний период. У большинства видов икра пелагическая, т.е. свободно выметывается в толщу глубинных горизонтов, а затем вслыхивает в приповерхностные слои, где происходит ее дальнейшее развитие до стадии личинки. Однако у некоторых камбал, например, у северной двухлинейной камбалы (*Lepidopsetta bilineata* Pall.), икра имеет клейкую оболочку и развивается на дне или в придонном горизонте. Плодовитость камбал весьма велика. Так белокорый палтус вымывает до 3,5 млн. икринок, а калкан (*Rhombus meoticus* Pall.) – до 13 млн. икринок. Тропические и субтропические виды вымывают в основном мелкие икринки диаметром не более 1,5 мм с одной или несколькими жировыми каплями, в отличие от обитателей умеренных и северных вод, икринки которых более крупные и жировой каплей не обладают. Продолжительность эмбрионального развития камбалообразных зависит от температуры воды и размеров икринок. Развитие мелких икринок тропических видов осуществляется очень быстро и занимает не более 2 сут. Крупные икринки северных видов развиваются в течение нескольких недель или даже месяцев. Личинки камбалообразных, в отличие от взрослых особей, симметричные и мало отличаются по форме от личинок других рыб. По мере своего роста и развития личинки постепенно покидают поверхностные водные массы и опускаются в более глубокие промежуточные слои. Здесь они претерпевают сложный метаморфоз, проявляющийся в морфометрических и физиологических изменениях, способствующих обитанию на дне и в придонных горизонтах, в процессе которых двусторонняя симметрия тела утрачивается [49, 50].

Камбалообразные принадлежат к числу ценных промысловых рыб, обладая превосходными вкусовыми качествами. По общему объему мировых уловов среди донных рыб они стоят на втором месте после тресковых.

В Балтийском море обитает 4 вида камбалообразных рыб, принадлежащих к двум семействам: семейству камбаловые (*Pleuronectidae*) – европейская речная камбала, морская камбала, лиманда и семейству ромбовые (*Bothidae*) – тюрбо (рис. 2.3).

### **2.3.1. Речная камбала**

Европейская речная камбала (*Pleuronectes flesus L.*) широко распространена в морях Европы. Основные популяции расположены в Двинской и Онежской губах Белого моря, на шельфе Баренцева и Норвежского морей, в западных и южных районах Северного моря, вдоль побережья Франции, Испании, Португалии. В Средиземном море речная камбала формирует крупные популяции в мелководных Адриатическом и Эгейском морях. В Черном море населяет прибрежную зону до глубин примерно 250 м, основные популяции располагаются в северо-западной части моря и приурочены к высокопродуктивным районам устьев рек Дуная и Днестра с повышенной кормовой базой. В Азовском море обитает практически повсеместно. Может встречаться также в реках и озерах, соединённых с морем, а также и в пресных водоёмах, в особенности на севере своего обширного ареала.

В Балтийском море речная камбала получила весьма значительное распространение. Данному виду здесь свойственна выраженная популяционная и расовая дифференциация, возникшая в силу значительной неоднородности и изменчивости абиотических и биотических условий водной среды. Широкие адаптационные возможности речной камбалы позволили ей освоить большинство районов данного водоёма. Крупнейшие популяции располагаются в районах с повышенной продуктивностью донных беспозвоночных, в частности моллюсков, составляющих основу кормовой базы взрослой камбалы. Вдоль южного, восточного и северо-восточного побережий выделяются следующие популяции: Борнхольмская, Гданьская, Восточно-готландская, Готландская, Хийумааская, Западно-финская и Финская, Аландская (рис. 2.8) [15,55,88]. Протяженность территории занятой отдельной популяцией составляет примерно от 140 до 200 км и определяется максимальным расстоянием нагульных миграций, не превышающим 70 – 100 км. Для балтийской речной камбалы свойственно наличие в некоторых районах, например в Финском заливе и около Одер-Банк, двух рас. Особи глубинно-нерестующей расы камбалы размножаются на максимальных глубинах при повышенной солёности, а представители прибрежно-нерестующей расы нерестуют, соответственно, при меньшей солёности около побережья. Для каждой из этих биологических внутривидовых группировок свойственны свои сроки, рай-

оны и условия нереста, условия развития икры и личинок, параметры роста и морфологические признаки. Существование двух отличающихся по биологии и экологии рас камбалы позволяет ей расширить свой ареал за счет наиболее опресненных северных и восточных районов моря. Основу нерестового запаса и уловов речной камбалы в Балтийском море составляют представители глубинно-нерестующей расы, в связи с чем изложенный ниже материал будет касаться преимущественно биологических, экологических особенностей и динамики запасов именно данной расы.

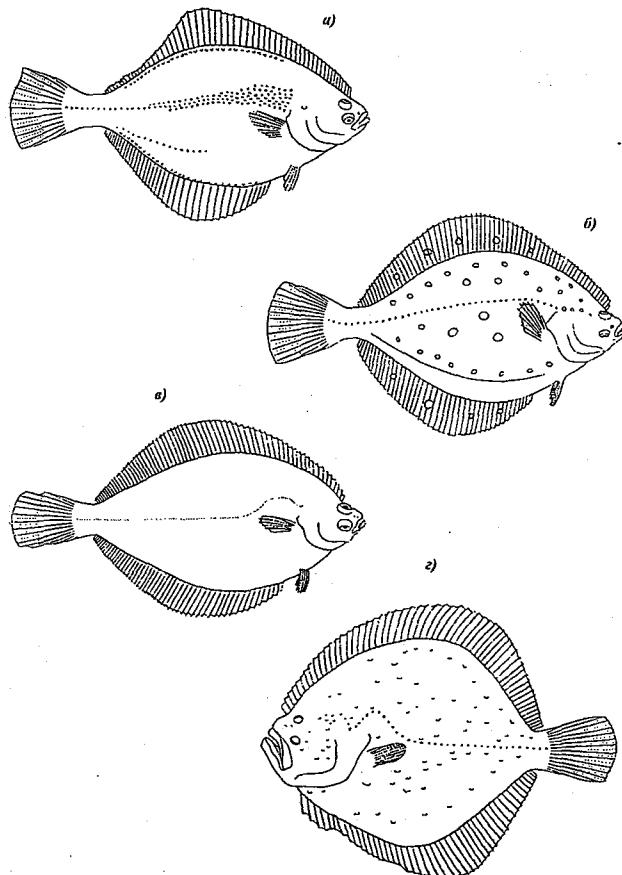


Рис. 2.7. Балтийские камбалообразные рыбы  
а – речная камбала; б – морская камбала; в – лиманда; г – тюрбо.

Размерно-возрастная структура балтийской речной камбалы зависит от конкретного района расположения популяции и от ее биологических параметров, таких как темп роста и созревание особей, величин естественной смертности и интенсивности эксплуатации данного стада, от которой зависит степень изъятия части популяции промыслом. Расположенные в северных районах моря популяции характеризуются пониженным темпом роста и созревания и большей продолжительностью жизни.

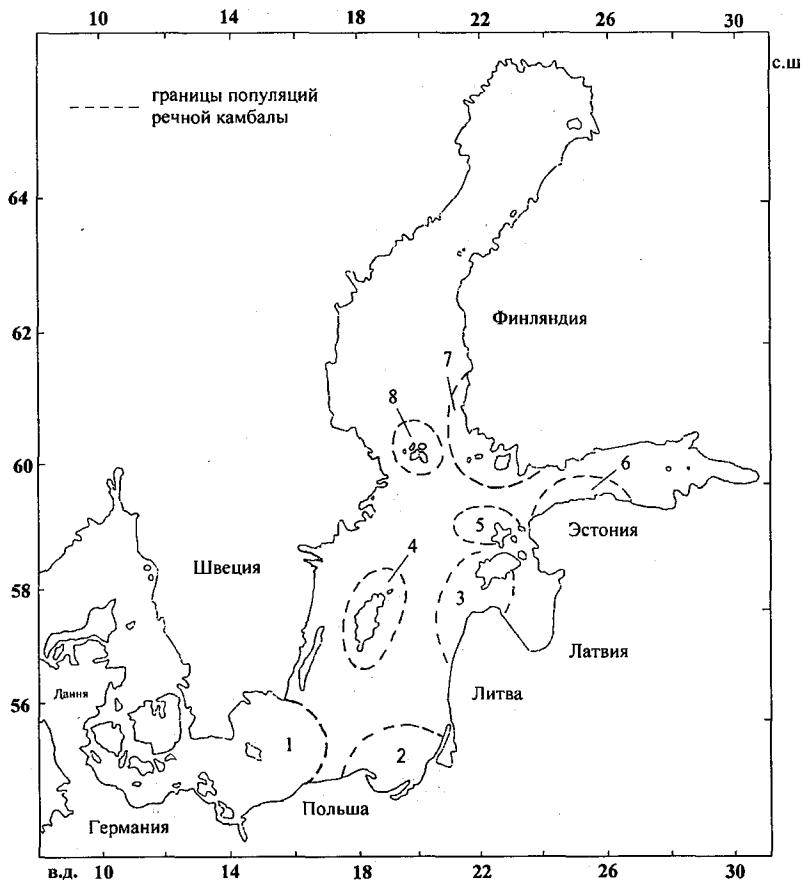


Рис. 2.8. Расположение основных популяций балтийской речной камбалы.  
1 – Борнхольмская; 2 – Гданьская; 3 – Восточно-готландская; 4 – Готландская;  
5 – Хийумаская; 6 – Западно-финанская; 7 – Финская; 8 – Аландская.

В западных районах Балтийского моря основу нерестового и промыслового запасов составляют особи в возрасте от 2 до 5 лет, в южных районах – 3 – 7 годовики, в восточных – 3 – 9 годовики, а в северных районах (Аландские острова и Ботнический залив) – 4 – 9 годовики. При этом максимальный возраст речной камбалы в северных популяциях составляет от 10 до 14 лет, а максимальная длина – до 45 см. Преобладание в северных районах в составе нерестового стада старших возрастных групп может объясняться более суровыми климатическими условиями, замедляющими развитие и созревание рыб, а также меньшей интенсивностью эксплуатации запасов камбалы относительно южных районов. Нерест в северных районах моря начинается на 1 – 2 месяца позже, чем в южных районах. Для южных популяций свойственен более продолжительный период нагула, что в свою очередь, положительно сказывается на темпах роста особей, который постепенно снижается в северном направлении (табл. 2.8).

В большинстве популяций балтийской речной камбалы средние, максимальные размеры и возраст самцов несколько меньше, чем у самок [55].

На протяжении всего периода индивидуального развития рост речной камбалы наиболее интенсивен в первые 3 года жизни до наступления половозрелости. За это время камбала достигает от 70 до 80 % своей максимальной длины. Достигнув половозрелости, как видно из табл. 2.9, камбала начинает расти медленнее и более равномерно. Такая особенность роста позволяет камбале быстрее и с наименьшим риском миновать тот период своего развития, на котором она в наибольшей степени доступна хищникам и на протяжении которого наиболее остро проявляется пищевая межвидовая конкуренция.

Таблица 2.8

**Средние длина и масса трёхгодовиков балтийской речной камбалы в различных районах [55]**

Район	Длина, см	Масса, г
Финский залив	19,5	130
Вентспилсский	21,0	140
Гданьский	23,5	180
Борнхольмский	25,0	200
Датские проливы	29,0	331

Таблица 2.9

**Длина и прирост длины по возрастным группам в Восточно-готландской популяции речной камбалы [55]**

Пол	Возраст, лет								
	1 +	2 +	3 +	4 +	5 +	6 +	7 +	8 +	9 +
Длина $l$ , см									
Самка	8,0	16,3	21,7	22,7	24,2	25,7	26,2	28,2	29,4
Самец	8,0	16,1	20,4	22,3	22,9	24,1	25,3	26,3	26,6
Годовой прирост длины, % от $l_{\max}$									
Самка	27	28	18	3	5	5	1	7	4
Самец	30	30	16	7	2	4	4	4	1

Основной прирост длины тела рыб приходится на период летнего нагула в прибрежной мелководной зоне при температуре воды от 10 до 15 °C. Осенью, в связи с понижением температуры воды, темп линейного прироста замедляется и возрастает жиронакопление. В зимне–весенний период рост балтийской речной камбалы приостанавливается [15].

По пищевой специализации речная камбала является бентофа-гом и потребляет в пищу массовые виды донных беспозвоночных организмов. Состав рациона находится в значительной зависимости от этапов онтогенеза и сезонного цикла [15, 55, 88].

Молодь длиной от 10 до 40 мм потребляет преимущественно различные виды *Copepoda* и *Harpacticoida*. Камбалы длиной от 40 до 100 мм, кроме планктонных организмов, питаются донными ракообразными *Amphipoda*, *Mysidae*, червями *Oligochaeta*, *Polychaeta*, личинками двустворчатых и брюхоногих моллюсков, а также молодью мелких рыб. По мере дальнейшего роста в рационе речной камбалы доля ракообразных постепенно уменьшается, а моллюсков – возрастает. Наибольшее разнообразие пищевых объектов характерно для камбал длиной от 15 до 24 см. В Восточной Балтике особи такого размера питаются 5-ю видами двустворчатых моллюсков *Bivalvia*, такими как *Macoma baltica*, *Mytilus edulis*, *Astarte borealis*, *Cardium edule*, *Mya arenaria*, 4-мя видами ракообразных *Amphipoda* – *Pontoporeia affinis*, *Pontoporeia femorata*, *Bathyporeia pilosa*, *Corophium volutator*, двумя видами многощетинковых червей *Polychaeta* – *Neries diversicolor* и *Harmathoe sarsi*, а также равногоногими ракообразными (*Isopoda*) и молодью рыб *Pomatoschistus minutus* и *Myoxocephalus quadricornis*. У особей длиной более 25 см

моллюски составляют уже от 80 до 90 % пищи, в связи с этим взрослую речную камбалу можно рассматривать как основного потребителя моллюсков Балтийского моря [15, 55].

Для балтийской речной камбалы свойственны выраженные сезонные изменения состава пищевого рациона и интенсивности питания. Максимум наблюдается в мае – июле в прибрежной зоне, когда накормленность составляет от 200 до 300 %, а в составе пищи доминируют моллюски и ракообразные. В осенний период, с понижением температуры воды, камбалы смещаются от береговой зоны на большие глубины и переходят на потребление более калорийного корма – в основном ракообразных и червей. Интенсивность питания при этом снижается [55, 88].

Для балтийской речной камбалы характерно три типа миграций. Это, во-первых, отдалённые миграции, обеспечивающие обмен между отдельными популяциями. Относительная изолированность популяций камбалы обеспечивает сохранение локальных адаптационных приспособительных механизмов в условиях географической неоднородности среды Балтийского моря. Однако даже между отдалёнными популяциями происходит определенный обмен генофондом, вследствие дрейфа пелагической икры и личинок, а также путем миграций взрослых особей. Произведенные БалтНИИРХ исследования при помощи мечения рыб, показывают, что взрослые особи способны совершать отдалённые миграции на расстояния до 300 км, и что численность таких особей достигает в среднем 2,7 % популяций. В годы с неблагоприятным для размножения гидрологическим режимом, миграционная активность речной камбалы возрастает.

Во-вторых, для половозрелой глубинно-нерестующей речной камбалы свойственны сезонные нерестово-нагульные миграции, состоящие в перемещении рыб из прибрежных районов к глубоко-водным впадинам моря, где в глубинных и придонных горизонтах при повышенной солёности осуществляется размножение. Нагул происходит в период с мая по август в мелководной прибрежной опреснённой зоне или на банках, на глубинах от 3 до 15 м при солености от 5 до 7 ‰ и температуре воды от 8 до 13 °С. В период с мая по июнь на нагульных территориях преобладают самки, доля которых может достигать 70 %, которые раньше самцов покидают нерестилища. Соотношение полов выравнивается только к августу.

Вначале нагула происходит компенсация энергетических затрат в период зимовки и нереста, а с июня по август – интенсивный белковый рост, который в конце нагула сопровождается жиронакоплением и развитием гонад к следующему нересту. По мере охлаждения прибрежных вод, половозрелая речная камбала постепенно перемещается по направлению к глубоководным районам. Зимовка осуществляется на глубинах от 60 до 80 м, под слоем температурного скачка в районах, находящихся около нерестилищ. Во время нереста речная камбала питание прекращает. Самцы подходят на нерестилища первыми и дольше на них присутствуют. После завершения нереста рыбы мигрируют в ближайший к нерестилищам прибрежный район [55].

В-третьих, для речной камбалы характерны внутрисезонные локальные миграции. В период нагула особи постоянно перемещаются, осваивая практически всю прибрежную полосу, однако большинство из них не удаляется от нерестилищ далее 100 км. Одним из крупнейших районов нагула для молодых рыб является Рижский залив [73].

Для биологической расы речной камбалы, нерестующей около побережья, свойственны менее продолжительные и менее протяжённые нерестовые миграции. Нерест и нагул происходят примерно в одних и тех же районах, а зимовка – на глубинах от 60 до 70 м под термоклином.

Нерест речной камбалы в юго-западных районах начинается в конце зимы или ранней весной в марте, в восточных районах – преимущественно в апреле, а в северных – только в начале мая [55]. Икра и личинки камбалы обладают значительно большей степенью чувствительности к значениям солёности воды, чем взрослые особи. Для их нормального развития солёность на нерестилищах не должна быть ниже 10–11 %, а содержание растворённого кислорода не должно быть менее 1 мг/л. В условиях опреснённого Балтийского моря относительно оптимальные условия для размножения глубинно-нерестующей речной камбалы присутствуют только в глубинных и придонных горизонтах глубоководных впадин, для которых характерна повышенная солёность. Южные районы Балтики в большей степени подвержены влиянию высокосолёных, плотных и обогащенных кислородом водных масс из Северного моря, в связи с этим здесь нерест камбалы происходит на меньших глубинах, чем в

восточных районах. По направлению к северо-востоку, как видно из табл. 2.10, глубина нереста, которая во многом зависит от положения изогалины 10 %, существенно возрастает. Кроме того, в том же направлении возрастает диаметр пелагических икринок, что позволяет им развиваться в толще воды, в условиях снижающейся её плотности. Крупнейшими нерестилищами являются Борнхольмская, Гданьская и Готландская впадины [52, 84].

Таблица 2.10.

**Характеристика условий нереста глубинно-нерестующей балтийской речной камбалы и изменчивость диаметра её икринок.**

Район	Глубина нереста, м	Соленость, ‰	Температура, °C	Диаметр икринок, мм
Финский залив	90 – 100	10 – 11	4 – 6	0,83 – 1,2
Готландская впадина	85 – 140	10 – 12	4 – 6	1,26 – 1,42
Гданьская впадина	70 – 100	10 – 13	4 – 8	1,17 – 1,49
Борнхольмская впадина	50 – 90	10 – 18	5 – 8	1,14 – 1,39
Арконская впадина	30 – 45	10 – 22	2 – 8	1,1 – 1,32

На нерестилищах прибрежно-нерестующей расы речной камбалы, расположенных на глубинах примерно от 10 до 20 м, кислородный режим, как правило, благоприятный, соленость низкая и не превышает 5 – 6 ‰, а время начала нереста определяется сроками прогрева поверхностных вод до 6 – 10 °C, что обычно происходит в мае или начале июня в зависимости от конкретного района. Икра прибрежно-нерестующей камбалы в условиях низкой солености не может находиться в толще воды и развивается преимущественно на грунте, где ее смертность весьма высока [55].

Продолжительность нереста глубинно-нерестующей речной камбалы в целом по морю длится от 3 до 4 месяцев, однако активное икрометание в каждой локальной популяции продолжается около 2 месяцев. В юго-западных районах максимальная активность нереста наблюдается в марте, в восточных районах – в апреле, в северных – во второй половине мая. Плодовитость в зависимости от массы и возраста самок в течение жизненного цикла находится в пределах от 130 тыс. до 2 млн. икринок. Икра речной камбалы (рис. 2.9, а) имеет тонкую прозрачную оболочку. Желток икринок гомо-

генный. Поверхность желтка в большинстве случаев инкрустирована. Зона дробления клеток имеет форму плоского диска, диаметр которого примерно на 30 % меньше размера желтка в его поперечном сечении. Инкубационный период при температуре воды от 6 до 10 °C составляет около 7 дней, при температуре о 10 до 12 °C – около 5 дней. У эмбриона на самых ранних стадиях развития голова и спина пигментированы мелкими черными точками. В дальнейшем пигментация тела возрастает, развивается плавниковая складка, окружющая тело.

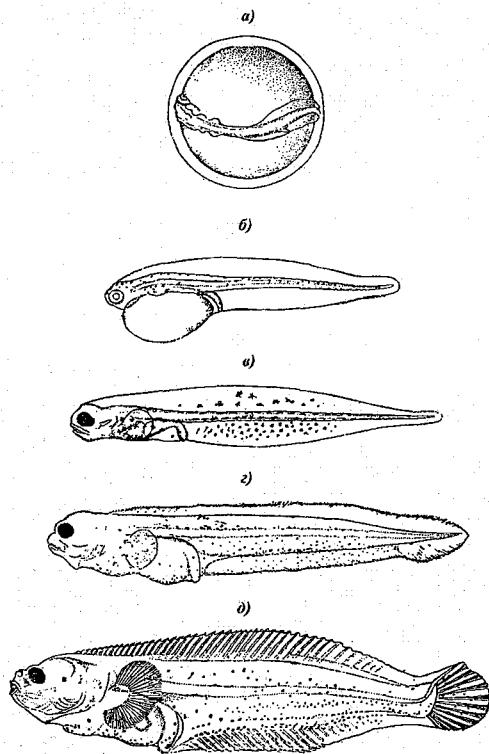


Рис. 2.9. Стадии раннего онтогенеза балтийской речной камбалы [84]  
 а – стадия эмбриона, в среднем 1,36 мм; б – стадия предличинки, длина 2,98 мм;  
 в – стадия личинки, длина 5,07 мм; г – стадия личинки, длина 7,4 мм;  
 д – стадия личинки, длина 8,6 мм.

Предличинки речной камбалы (рис. 2.9 б) имеют длину тела от 3 до 4 мм.

Тело предличинок плоское, листовидное. Пигмент в виде мелких точек покрывает голову и распространяется вдоль контуров тела. Глаза лишены пигмента. Плавниковая складка начинается в области головы, над глазом, окружает тело и доходит до заднего края желточного мешка. Она расширена в средней части туловища и сужается в хвостовой области. Желточный мешок имеет овальную форму без пигментации и значительный размер, достигающий 36 % от длины тела. Он рассасывается у предличинок при достижении ими 4 мм длины, после этого особи переходят на внешнее питание и вступают в новую стадию своего индивидуального развития (онтогенеза) – стадию личинки.

Личинки длиной от 4 до 6 мм (рис. 2.9 в) обладают ещё удлинённым и невысоким телом. Его высота не превышает 6,5 % от общей длины. Пигментация распространена преимущественно вдоль контуров тела. Глаза пигментированы. Кишечник образует петли.

У личинок длиной от 6 до 8 мм (рис. 2.5 г) высота тела достигает в среднем 9,5 % его длины, а в непарных плавниках начинается дифференциация лучей. Пигментация тела выражена более интенсивно и распространяется на основание и лучи анального плавника.

Личинки речной камбалы длиннее 8 мм имеют очень плоское и высокое тело, высота которого достигает 15 % от его длины. Лучи в непарных плавниках дифференцированы. Аналый плавник покрывают мелкие звездчатые пигментные клетки. Расположение глаз пока симметричное. Окраска обеих сторон тела идентична (рис. 2.5 д).

При достижении длины 10 мм личинки претерпевают метаморфоз, глаза перемещаются на одну сторону тела и они переходят к жизни на дне и в придонных горизонтах, где и осуществляется их дальнейшее развитие.

Результаты многочисленных экспериментальных работ, выполненных отечественными и зарубежными исследователями [14, 15, 16, 88], свидетельствуют о том, что рост и развитие молоди камбалообразных рыб, в том числе и речной камбалы, находятся в тесной зависимости от влияния факторов среды, и прежде всего, солености и температуры воды.

К числу наиболее результативных и продолжительных экспериментальных работ принадлежит работа Гутта, упоминаемая в ря-

де источников [84, 88, 96], целью которой являлась оценка влияния различных значений солёности на интенсивность питания и рост молоди балтийской речной камбалы. Из района Кильского фьорда (Германия) в июне был осуществлён вылов нескольких сотен особей молодой камбалы, из которых для лабораторных исследований были отобраны 168 экземпляров с размерами близкими к среднему – длиной от 4,2 до 5,3 см в возрасте нескольких месяцев. Рыбы помещались в белые пластиковые аквариумы с песчаным грунтом ёмкостью 50 л. Соленость воды в аквариумах устанавливалась на уровне 0,1 ‰, 4,5 – 5,5 ‰, 14 – 16 ‰ и 34 – 36 ‰. Для каждого уровня солёности использовались два аквариума с помещенными в них рыбами. Между аквариумами поддерживался принудительный водообмен со скоростью 1 л/мин, гарантирующий одинаковое качество воды в каждом из них. Вода искусственно аэрировалась. Температура поддерживалась на уровне от 18 до 20 °С автоматически. Постоянно контролировались и поддерживалось на примерно одинаковых уровнях концентрация ионов аммония, нитритов, содержание растворённого кислорода и pH. Освещение составляло 14 ч в сутки. Половые различия в интенсивности питания камбал в возрасте менее одного года принимались как крайне незначительные и не учитывались.

Первые 10 дней до начала эксперимента все отобранные особи содержались при солёности около 15 ‰. В дальнейшем значения солёности в каждой паре аквариумов были доведены до опытных значений – 0,1, 5,15 и 35 ‰. Эксперимент был начат после 14 дней акклиматизации рыб к жизни при различных значениях солёности. Все рыбы взвешивались по отдельности через каждые 7 дней с точностью до 0,01 грамма и измерялись с точностью до 0,2 мм. Измерения массы и длины производились через 25 ч после последнего приёма пищи, когда желудки рыб были пустыми. Первые 70 дней эксперимента пища камбал состояла из олигохет семейства *Tubifex*, являющихся основой рациона в природных условиях. На протяжении последующих 16 дней молодые камбалы питались свежим нарезанным мясом моллюсков *Mytilus edulis*. Смертность рыб в период проведения многодневного опыта не превысила 3 %, что может свидетельствовать о благоприятных в целом условиях эксперимента.

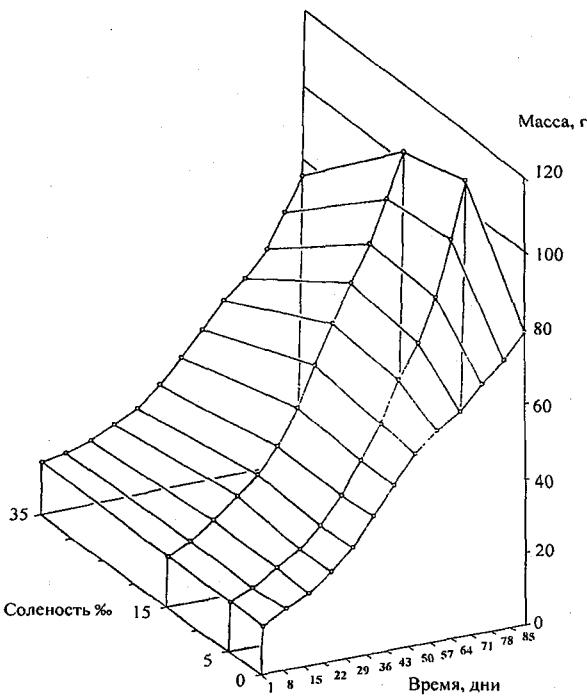


Рис. 2.10. Временная изменчивость массы молодых особей балтийской речной камбалы в зависимости от значений солености [96]

Основные результаты эксперимента представлены на рис. 2.10. На протяжении первых 20 дней опыта различий в интенсивности питания и массе молодых особей речной камбалы, содержащихся при различной солёности, практически не наблюдалось. В дальнейшем, стало заметно существенное увеличение темпа роста тех особей, которые содержались при солёностях около 5 % и 15 %. Так, на 50-й день проведения эксперимента масса особей речной камбалы, содержащихся при солёности около 0,1 % и 35 %, составила соответственно 52 и 43 г, в то время как масса особей помещенных в резервуары с солёностью около 5 % и 15 % составила соответственно 55 и 60 г. На заключительной стадии эксперимента, на 85-й день с момента его начала, отличия в массе стали наиболее выраженными. Рыбы, содержащиеся в пресной воде и в условиях солености около 5 и 15 % об-

ладали массой соответственно 123 и 120 г. Произведённый экспериментатором статистический анализ данных подтвердил значимость полученных результатов в отношении различий в темпе роста. В целом удалось установить, что наибольшая интенсивность питания, роста и развития молоди речной камбалы наблюдается при солёности не ниже 5 и не выше 15 %. Данный диапазон значений солёности следует признать зоной относительно оптимума. Согласно наблюдениям экспериментатора, замедленный темп роста рыб в пресной воде может объясняться низким темпом их питания, а в условиях океанической солености у рыб ухудшается переваривание и усвоение пищи, что также приводит к замедлению их роста и развития.

Таким образом, результаты данного эксперимента, а также ряда других экспериментальных работ, упомянутых выше, убедительно свидетельствуют о том, что изменчивость биологических показателей молоди донных рыб находится в тесной зависимости от влияния естественных факторов внешней среды.

### **2.3.2. Морская камбала**

Атлантическая морская камбала (*Platessa platessa L.*) обитает практически вдоль всего побережья Европы от восточной части Баренцева и Белого морей на севере до Бискайского залива и Средиземного моря на юге. В пределах своего обширного атлантического ареала данный вид образует несколько крупных локальных популяций, приуроченных к определённым районам. К таковым принадлежат крупнейшие популяции Баренцева моря, северной и южной частей Северного моря и менее многочисленные популяции Белого моря, побережья Великобритании, Исландии, южного побережья Гренландии, популяции Датских проливов и западной части Балтийского моря, западной и центральной частей Средиземного моря, Эгейского моря, южной части Черного моря [4,49].

Морская камбала является важнейшим промысловым видом камбаловых рыб в морях, омывающих Европу. В некоторых странах её ценят выше трески, пикши и морского окуня. Под влиянием промысла возрастной и размерный состав промыслового стада морской камбалы способен быстро и значительно меняться, что выражается прежде всего, в сокращении численности старших возрастных групп и средней длины особей. Интенсивное рыболовство способно очень быстро привести к исчерпанию запасов.

Обычная длина морской камбалы составляет от 25 до 50 см, но отдельные экземпляры могут достигать длины в 100 см и массы от 5 до 7 кг. Глазная сторона тела имеет оливково-коричневый цвет с оранжевыми или тёмно-красными пятнами. Противоположная сторона белая, иногда с желтыми или коричневыми пятнами. Наиболее многочисленна на песчаном грунте, однако встречается также на илистом и галечниковом грунтах. Обитает на глубинах от 1 до 200 м, но наиболее распространена на глубинах от 10 до 15 м. Питается взрослая морская камбала преимущественно моллюсками, иногда мелкими рыбами, а также зарывающимися в грунт организмами, в частности, полихетами и ракообразными. Личинки питаются мелкими планктонными организмами, а молодь после прохождения стадии метаморфоза до момента наступления половозрелости потребляет преимущественно олигохет и мелких моллюсков. Морская камбала обладает длительным жизненным циклом. Интенсивность роста и развития имеет региональные особенности. Половая зрелость в Северном и Балтийском морях наступает у самок в возрасте от 3 до 4, а у самцов в возрасте от 2 до 3 лет, тогда как в более холодном Баренцевом море большинство самок впервые созревает только в возрасте от 8 до 10 лет, а самцы на 7-м или 8-м году жизни. Плодовитость составляет в среднем около 200 тыс. икринок. Икра свободно вымётывается в толщу воды. Особи из южных популяций более плодовиты. Продолжительность жизни, особенно в северных регионах, достигает 30 лет.

Нерест в Балтийском море протекает в основном в феврале – марте, в Северном море – в январе – феврале, а в Баренцевом море – с марта по апрель. В Северном море размножение морской камбалы осуществляется на глубинах от 30 до 55 м в районах с максимальными солёностью и температурой. Районы икрометания северной популяции расположены около Фарерских и Шетландских островов, а южной – перед входом в пролив Ла-Манш. Морская камбала обладает значительно меньшей толерантностью к низкой солёности воды, чем рассмотренная выше речная камбала, поэтому в солоноватом Балтийском море её распространение на восток ограничивается районом острова Борнхольм. Основные нерестилища морской камбалы расположаются только в южных и юго-западных районах Балтики с солёностью не менее 12 – 13 %. Популяция Датских проливов нерестует в южной части пр. Каттегат и между островами Дании. Популяция соб-

ственю Балтийского моря, размножается на глубинах от 20 до 60 м в придонных горизонтах Арконской и Борнхольмской впадин.

Популяции морской камбалы Северного и Балтийского морей обладают значительным генетическим родством и сходными поведенческими особенностями несмотря на ряд адаптационных различий, проявляющихся в основном в условиях и сроках нереста, а также в продолжительности этапов раннего индивидуального развития особей. Из наблюдений следует, что морская камбала на всем протяжении своего атлантического ареала никогда не размножается на глубинах менее 20 и более 100 м, причём она предпочитает такие районы моря, для которых не характерны постоянные придонные течения в строго определённом направлении, а имеется некоторый круговорот, обусловленный столкновением течений. Важным условием успешного нереста и развития пелагической икры, кроме достаточно высоких значений солености, является температура, оптимальные значения которой находятся в пределах от 4,5 до 8 °С. При более низких температурах – от 0 до 2 °С наблюдаются патологии развития и гибель икры, при более высоких камбала смещается в более холодные глубинные горизонты, где и происходит нерест при концентрации кислорода на уровне не менее 2 мг/л [84].

Выметанная в глубинных горизонтах икра, поднимается, в силу своего удельного веса, в верхние слои воды. Однако, в процессе дальнейшего развития, удельный вес икринок увеличивается, и они снова опускаются в более глубокие горизонты. Диаметр икринок морской камбалы в Северном море составляет от 1,66 до 2,17 мм, в Балтийском море икринки лишены жировой капли и имеют несколько меньший размер. Период развития икры и время появления личинок зависит в основном от температуры воды. При 5 °С развитие продолжается 20 дней, а при 8 °С – 12 дней. Вышедшие из икры пелагические личинки, длиной от 6,5 до 7,5 мм, обладают полностью симметричным строением (рис. 2.7, б). На начальном этапе своего развития личинки имеют небольшой желточный мешок, который утрачивается через 10 или 12 дней, по достижении ими размера от 7 до 8 мм. Несмотря на влияние течений, которые способны в некоторых случаях переместить личинки пассивно на значительные расстояния, уже с момента своего появления они стремятся мигрировать в прибрежные хорошо прогреваемые мелководные районы, как правило, с пониженной солёностью.

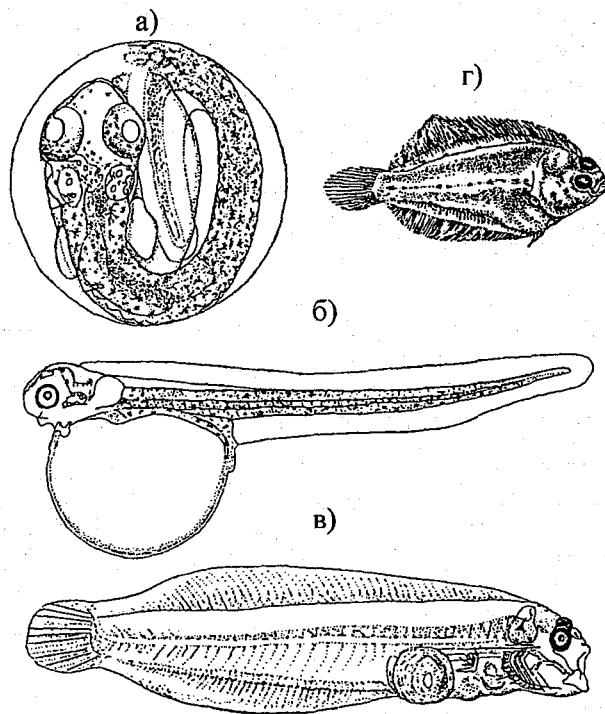


Рис. 2.11 Стадии раннего онтогенеза морской камбалы.

*а* – личинка внутри яйцевой оболочки на 17-й день развития, диаметр 1,88 мм;  
*б* – выклонувшаяся пелагическая личинка, длина 6 мм; *в* – начало превращения в придонную форму, длина 15 мм; *г* – придонная форма после завершения метаморфоза, тело приняло форму камбалы, длина 13 мм [84].

Заключительный период пелагического развития личинок сопровождается их метаморфозом, в процессе которого они приобретают асимметричную форму тела (рис. 2.11, *в*, *г*) и постепенно переходят к придонному образу жизни. Процесс метаморфоза начинается при достижении личинкой длины от 10 до 12 мм, и заканчивается при длине тела от 13 до 17 мм. В юго-западной части Северного моря, около побережья Нидерландов, первые асимметричные личинки встречаются на дне в конце апреля или в мае, у западного побережья Германии, в районе устьев рек Везер и Эльба, ассимет-

ричные личинки появляются, как правило, в июне. В Балтийском море, по причине более суровых климатических условий, метаморфоз завершается позже, и первые донные личинки появляются только во второй половине июня или в начале июля. Первоначально они обитают на глубинах от 0,5 до 5 м, преимущественно на песчаном грунте. По мере дальнейшего роста мальки камбалы постепенно смещаются на глубины от 10 до 20 м. К началу осени, в зависимости от обеспеченности пищей, молодь достигает длины от 5 до 10 см и переходит на глубины от 30 до 50 м, при этом не отдаляясь значительно от прибрежной зоны. Зимовка происходит, как правило, на более значительных глубинах, при этом молодые камбалы зарываются в песок и, по-видимому, значительно снижают интенсивность обмена веществ. В зимний период прирост их массы и длины тела существенно замедляется.

С наступлением весны, в марте и апреле, камбалы-годовики начинают интенсивно питаться, возрастает их двигательная активность. Со второго года своего существования они приступают к периодическим сезонным миграциям в вертикальном направлении. Особенности этих миграций подробно изучены на основе многочисленных опытов по мечению рыб, выполненных в рамках международных исследовательских проектов государств северной Европы [73,84]. Весну и лето камбалы проводят вблизи от берегов, на глубинах не более 10 м. С наступлением осени рыбы перемещаются глубже. Камбалы-двуухлетки, длиною от 18 до 20 см обитают весной и летом на глубинах от 10 до 20 м. В летний период, на фоне возрастаания температуры воды, и зимой, при значительном охлаждении поверхностных водных масс, они мигрируют на большие глубины, где термический режим более благоприятен. В условиях Балтийского моря максимальная глубина зимовки рыб зависит от содержания растворенного кислорода у дна и отсутствия сероводорода. Камбалы-трехлетки достигают от 25 до 28 см, длины и уже осенью обитают на глубинах от 20 до 30 м. Летом и зимой они мигрируют на глубины более 40 м. Начиная с четырёхлетнего возраста, особи морской камбалы большую часть года обитают на значительных глубинах, при этом характер их сезонных миграций в целом сохраняется.

Взрослые камбалы совершают более протяжённые миграции, связанные с поиском пищи и сезонной изменчивостью температуры

воды, чем молодь. Согласно опытам мечения, протяжённость кормовых и сезонных миграций морских камбал, принадлежащих к основным популяциям Северного и Балтийского морей, не превосходит 100 км, но в отдельных случаях отмечены их передвижения на 160 км за 28 дней и даже на 220 км за 43 дня.

Нерестовые миграции начинаются при достижении рыбами половозрелости и наблюдаются в зимнее и весенне время. В Балтийском море, учитывая значительную олесненность его поверхностных и прибрежных водных масс, созревшие особи направляются от берега в открытое море по направлению к придонным горизонтам глубоководных впадин южной части моря, где при повышенной солености и происходит икрометание. Основным нерестилищем для собственно балтийской популяции морской камбалы является Борнхольмская впадина. После нереста отнерестившиеся производители возвращаются в прибрежные районы. В Северном море, наоборот, большинство рыб в период нереста мигрирует из глубоководных районов на меньшие глубины в прибрежной зоне, где содержание растворенного кислорода, от которого наравне с температурой зависит развитие икры, как правило, выше. У западных берегов Дании морские камбалы, исходя из результатов мечения, совершают только относительно короткие нерестовые миграции на юг, запад и на север. Для зоны Датских проливов свойственна достаточно сложная картина миграций. Крупные особи северной популяции Северного моря способны проникать через проливы Скагеррак и Каттегат только в северную часть проливов Малый и Большой Бельт. Более мелкие камбалы из популяции Датских проливов мигрируют к югу до о. Фальстер и Арконской впадины, которая является для них основным нерестилищем. Предположения о миграциях балтийских камбал в Северное море и обратно не подтверждаются результатами опытов массового мечения рыб. В связи с этим можно уверенно говорить о том, что в Балтийском море обитают самостоятельные популяции морской камбалы, адаптировавшиеся к местным условиям.

### 2.3.3. Лиманда

Камбала-лиманда (*Limanda limanda L.*), или ершоватка, населяет Восточную Атлантику от Баренцева моря до Бискайского залива. Основные популяции расположены в прибрежной зоне Кольского полуострова, в Белом море, вдоль побережья Норвегии, около Ис-

ландии и Фарерских островов, вдоль побережья Великобритании и Ирландии, в южных и восточных районах Северного моря, вдоль французского побережья Бискайского залива, в пр. Ла-Манш и в Балтийском море. Достигает 42 см длины и массы до 1,3 кг, но обычно длина не превышает 25 см. Рот маленький, голова средних размеров. Боковая линия над грудным плавником на глазной стороне тела сильно изогнута, чешуя зазубрена, что делает поверхность тела шероховатой. На противоположной стороне шероховаты только края тела. В анальном плавнике от 50 до 64 лучей. Окраска глазной стороны светло-коричневого цвета с лимонно-желтыми пятнами, спинной и анальный плавники серые, в их основании заметна тёмная линия [17, 49].

Лиманда принадлежит к числу многочисленных видов камба-лообразных и имеет существенное промысловое значение практически на всём протяжении своего Европейского ареала. Обитает в мелководных районах морей с песчаным грунтом преимущественно на глубинах от 20 до 40 м, но молодые особи, как правило, распространены на глубинах менее 5 м, а взрослые могут встречаться глубже 140 м. Пищевой спектр зависит от конкретных условий обитания, но, как правило, его основу составляют донные беспозвоночные, среди которых полихеты, мелкие ракообразные и моллюски. Крупные взрослые особи способны питаться также мелкими рыбами, такими как мойва (*Mallotus villossus* Mull.), песчанка (*Ammodytes tobianus* L.) и др.

В Баренцевом море лиманда достигает половозрелости на 4-м или 5-м году жизни при длине от 22 до 22 см. В Северном и Балтийском морях созревание самцов наступает в возрасте 2 лет, у самок – в 3 года. Продолжительность жизни достигает 12 лет. Плодовитость составляет от 80 до 150 тыс. икринок. Нерест происходит в зависимости от района весной или летом. В Белом море период интенсивного икрометания приходится на июль и август. В менее суровом Северном море активный нерест начинается в феврале или марте. Икринки, личинки и молодь на ранних стадиях являются пелагическими, их развитие происходит в самом поверхностном слое воды. При длине тела от 13 до 18 мм начинается метаморфоз и молодь опускается к дну [50].

Лиманда является требовательной к высокой солености воды видом и практически не встречается вблизи устьев рек и в сильно

опреснённых участках внутренних морей. Для успешного развития ее икры требуется солёность не менее 12 – 13 %, однако взрослые особи некоторых популяций способны обитать и при меньшей солёности. В Балтийском море камбала-лимандра наиболее распространена в южных и юго-западных районах, а основными ее нерестилищами здесь являются прежде всего Арконская и Борнхольмская впадины, а также северная часть Готландской впадины. Период нереста в Балтике, как правило, продолжителен. В западных районах икрометание начинается в феврале и заканчивается в августе, в центральной части моря нерест начинается не ранее конца марта или в начале апреля и заканчивается во второй половине августа или в начале сентября. Икра балтийской лимандры пелагическая, без жировой капли, имеет очень тонкую оболочку, гомогенный желток. Икринки в западных районах моря имеют диаметр от 0,78 до 1,05 мм. В южных и центральных районах диаметр икры, в связи с более низкой солёностью, возрастает и составляет от 0,97 до 1,20 мм, что является адаптационным приспособлением, позволяющим икре находиться и развиваться в толще воды. Данная особенность характерна, как было упомянуто выше, и для икры других донных рыб Балтики, в частности для трески и глубинно-нерестующей речной камбалы. Эмбрион лимандры пигментирован мелкими черными точками. Поперечник эмбриона тонкий, в 8 – 10 раз меньше диаметра оболочки. Предличинки очень мелкие, их длина не превосходит 3 мм. Личинки имеют широкую плавниковую складку, слегка сужающуюся в области хвоста и пигментированные края грудных плавников. После метаморфоза молодь переходит к придонному образу жизни на глубинах от 5 до 20 м.

По сравнению с морской камбалой, для лимандры в меньшей степени свойственны продолжительные миграции, связанные с сезонной изменчивостью условий среды. Тем не менее в Балтийском море по мере осеннего охлаждения вод наблюдаются перемещения лимандры из прибрежных высокопродуктивных районов нагула по направлению к глубоководным участкам с более стабильным термическим режимом, где и происходит зимовка. Весной особи, достигшие половой зрелости, мигрируют в районы нерестилищ, которыми являются придонные горизонты глубоководных впадин.

### **2.3.4. Тюрбо**

Камбала-тюрбо или большой ромб (*Rombus maximus L.*) – представитель семейства ромбы (*Bothidae*). Распространена в прибрежной зоне Средиземного и Чёрного морей, а также у атлантического побережья Европы в Северном и Балтийском морях до западной части Баренцева моря. Воды Северной Европы являются северной границей ареала данного вида. Наиболее многочисленные популяции тюрбо в этом регионе располагаются в южной части Северного моря, в Ирландском море и в пр. Ла-Манш. В Норвежском и Баренцевом морях численность заметно ниже. Тюрбо является крупной донной хищной рыбой, достигает длины 100 см и массы 25 кг, однако обычно ее длина составляет от 40 до 60 см, а масса – от 6 до 10 кг. Самки крупнее самцов. Тело очень широкое и довольно высокое, голова крупная. Рот большой, нижняя челюсть слегка выдаётся. Чешуя нет, глазная сторона тела покрыта мелкими острыми kostными бугорками. Брюшные плавники равной длины с широким основанием. В спинном плавнике от 57 до 70 лучей, причём первые лучи разветвлены, их оконечности свободны от плавниковой перепонки. Боковая линия сильно изогнута над грудными плавниками (рис. 2.11, 2). Окраска тела может быть различной в зависимости от характера грунта, но обычно глазная сторона желтовато-серая или красновато-серая с небольшими чёрно-бурыми пятнами.

Тюрбо принадлежит к числу наиболее важных промысловых видов, по мнению многих, мясо этого вида камбалы обладает не-превзойдёнными вкусовыми качествами.

Обитает тюрбо на песчаном или галечном дне в прибрежных водах, на глубинах, как правило, не более 80 м. Молодь живет в более мелководных районах, чем взрослые особи, которые наиболее обильны на банках вдали от берега. Рыбы в возрасте до 1 года распространены в литоральной зоне песчаных берегов [17,49].

Питается взрослая камбала-тюрбо главным образом рыбой, это активный хищник, поедающий в больших количествах песчанку, шпрот, сельдь, мерланга, а иногда и мелких камбал. Молодь потребляет моллюсков, червей и донных ракообразных. Темп роста тюрбо, в особенности в северной части ареала, очень замедлен. Так, 5-летние самцы у побережья Норвегии имеют длину всего 20,3 см, а самки 24,5 см, а в южной части Северного моря длина самцов аналогичного возраста составляет 28 см, а самок 35 см.

Половозрелость наступает на 4 или 5 году жизни. Икрометание в зависимости от района осуществляется с марта по август, недалеко от берега на глубинах от 10 до 40 м. Икра пелагическая, около 1 мм в диаметре, имеет жировую каплю. Плодовитость может составлять более 1 млн. икринок. Пелагический период развития молодых особей длительный и может продолжаться от 4 до 6 месяцев, что способствует их расселению из районов нерестилищ. У молоди развит плавательный пузырь, который исчезает на стадии метаморфоза, при достижении ими длины от 2,5 до 3 см и переходу к придонному образу жизни. Осевшая на дно молодь питается донными беспозвоночными.

В Балтийском море камбала-тюрбо распространена достаточно широко, как в западных, так и в центральных районах, однако её численность здесь существенно меньше, чем в Северном море. Недостаточная изученность данного вида не позволяет с уверенностью выделить и объективно охарактеризовать конкретные балтийские популяции. Тем не менее, согласно имеющимся сведениям, промысел тюрбо ведется как в водах с повышенной соленостью восточно-го побережья Дании, так и в водах Польши и Прибалтики при солёности от 5 до 8 %. В связи с этим, а также учитывая характерные для камбалообразных ограниченные способности к дальним миграциям, можно прийти к предварительному выводу о существовании в Балтийском море двух самовоспроизводящихся расс, по аналогии с рассмотренной выше прибрежно-нерестующей и глубинно-нерестующей речной камбалой, одна из которых, видимо более многочисленная, размножается в южных районах моря при солености 10 – 12 %, а другая адаптировалась к более низкой солёности в восточных районах.

Согласно данным И.И. Казановой (ВНИРО), нерест балтийской камбалы-тюрбо происходит в основном в западных районах с апреля по август. Икра свободно вымётывается в толщу воды и имеет диаметр от 0,91 до 1,19 мм. Икринка имеет пигментированную жировую каплю. Предличинки выклёвываются, имея длину тела около 2,5 мм. Желточный мешок овальный, содержит жировую каплю. Резорбция желточного мешка происходит у личинок длиной около 4 мм. Формирование лучей в непарных плавниках происходит у молоди при длине тела около 8 мм. При длине тела около 25 мм осуществляется метаморфоз, тело становится более уплощенным, исче-

зает плавательный пузырь, и молодые камбалы переходят к придонному образу жизни, смещаясь из глубоководных районов нерестилищ к берегу.

Итак, мы рассмотрели главные особенности биологии и экологии донных рыб Балтийского моря. Выяснилось, что в целом для балтийской трески и камбалообразных свойственны сходные приспособительные адаптации к жизни в условиях Балтики.

В зависимости от географического положения наблюдаются общие изменения в структуре популяций и темпе созревания особей. В северных районах моря, по причине более суровых климатических условий, темп созревания замедлен, и в составе нерестового стада донных рыб преобладают более старшие возрастные группы. Для южных районов моря характерен повышенный темп созревания, более раннее начало нереста и большая его продолжительность. Балтийской треске и камбалообразным свойственна также единая тенденция, направленная на увеличение диаметра их икры по направлению с юго-запада на северо-восток, что является адаптацией к снижающейся солёности воды. Для всех донных рыб свойственны общие черты нерестовых и нагульных миграций. Как правило, размножение осуществляется в придонных горизонтах глубоководных впадин, после чего производители мигрируют в прибрежную высокопродуктивную зону. Успешное воспроизводство донных рыб из большинства образуемых ими популяций становится возможным только в придонных горизонтах глубоководных впадин при солёности воды не менее 10 – 12 % и концентрации кислорода не менее 2 мг/л.

#### **2.4. Динамика урожайности и уловов донных рыб**

Существует несколько точек зрения относительно причин, определяющих численность того или иного поколения донных рыб. Некоторые исследователи стремились сопоставить количество зоопланктона и личинок балтийской трески с целью нахождения связи между их выживаемостью и обеспеченностью пищей, так как у многих видов рыб численность поколений зависит именно от этого фактора. Однако выяснилось, что при одинаковой биомассе планктона могут формироваться весьма разные по численности поколения трески, например, высокоурожайное 1954-го года и малочис-

ленные поколения 1951-го и 1958-го годов рождения. Таким образом, на основании имеющихся данных нельзя установить прямой тесной зависимости между обеспеченностью личинок пищей и урожайностью. По мнению Кнудсена [87], возможно проникновение молоди трески из Северного моря в Балтийское. А. Иенсен [85] полагает, что при рассмотрении вопроса о причинах динамики численности трески требуется учитывать ее пищевые взаимоотношения с другими видами рыб. Очевидно, что в поиске главных факторов, в наибольшей степени действующих на урожайность поколений донных рыб, следует обратиться к особенностям биологии и экологии данного вида. Требуется определить, на каком этапе жизненного цикла наблюдается критический период, т.е. период, на протяжении которого каждая особь в максимальной степени зависит от внешних факторов. Как было показано в предшествующей главе, критическим периодом для балтийской трески и камбалообразных рыб является период их эмбрионального развития. Именно на этом этапе онтогенеза отмечается наибольшая смертность. Те факторы, от влияния которых зависит степень благополучного прохождения критического периода, и будут главными. Но остается еще найти ответы на вопросы: от чего зависит временная изменчивость главных факторов, предположительно таких как содержание растворенного кислорода и соленость, а также, существуют ли другие значимые факторы, действующие на донных рыб на ранних и более поздних стадиях их развития? Только после этого можно будет с уверенностью сказать, что причины динамики урожайности и уловов донных рыб понятны.

В настоящем исследовании в качестве основных показателей многолетней динамики урожайности донных рыб используются данные о выживаемости икры на нерестилищах, о численности поколений молодых особей, пополняющих промысловое стадо, биомассе нерестового стада, а также данные по уловам.

Численность поколений рыб, пополняющих промысловое стадо, в английском языке соответствует термину "recruitment" и обозначает количество молоди рыб, рекрутов, в возрасте, как правило, не более 3-х лет, впервые пополняющих промысловое стадо. Данные по рекрутам балтийской трески приведены в работах [71, 75, 85, 91, 101]. Биомасса нерестового стада или в английской интерпретации "spawning stock biomass", является показателем репродук-

тивного потенциала популяции, т.е. способности при благоприятных условиях воспроизвести максимальное количество потомков. Однако, как было установлено в работе [55] и ранее, для большинства популяций атлантической трески биомасса нерестового стада слабо влияет на урожайность годового класса. Для балтийской трески соответствующий коэффициент корреляции ( $r$ ), отражающий тесноту связи между рядами, равен 0,4 при 99 %-ном уровне обеспеченности. Видимо, численность поколений трески обитающей в Балтийском море, учитывая характерные для этого бассейна межгодовые и многолетние колебания режимообразующих факторов и его расположение на окраине ареала трески, определяется в первую очередь не биомассой или количеством производителей, а выживаемостью её икры.

Величина уловов может являться только косвенным показателем урожайности предшествующих поколений, так как в значительной мере зависит от интенсивности рыболовства в регионе и от использования более или менее эффективных орудий лова рыбы. Тем не менее объём вылова должен находиться в определенной зависимости от численности промыслового стада. Промысловая смертность (FM) или "fishing mortality" является показателем интенсивности промысла и может использоваться для оценки меры антропогенного пресса на запас трески.



Рис. 2.8. Многолетняя динамика численности рекрутов и биомассы нерестового стада восточно-балтийской популяции трески

Ниже приводятся данные по перечисленным показателям динамики урожайности балтийской трески. Наиболее длинные ряды соответствует данным по уловам. Однако следует учитывать, что достаточно высокий уровень систематизации этих данных, обеспечивающий объективность величин, был достигнут только к началу 1960-х годов, в связи с чем использовать более ранние данные по уловам для анализа причин многолетней динамики урожайности нецелесообразно. Данные по остальным показателям доступны только за вторую половину XX в.

Рассмотрим особенности многолетней динамики показателей урожайности балтийской трески и камбалообразных рыб в центральных и южных районах моря.

На рис. 2.12. представлены данные по численности рекрутов в возрасте 2-х лет и биомассе нерестового стада восточно-балтийской популяции трески в Центральной части Балтийского моря (подрайоны 25 – 32 Международной системы районирования промысла и учёта статистических данных по рыболовству), полученные на основе метода анализа виртуальных популяций (VPA). Из рисунка 2.12 видно, что в начале 1960-х годов численность рекрутов трески находилась на относительно стабильном уровне – около 250 млн. особей. С начала 1970-х годов урожайность трески начала возрастать. В 1972 г. появилось первое высокоурожайное поколение, и численность рекрутов превысила 400 млн. особей. Вслед за этим в 1976 и 1979 гг. последовали новые ещё более высокоурожайные поколения молодых особей трески, оцениваемые соответственно в 755 и 650 млн. особей. В целом в период с 1971 по 1981 гг. численность рекрутов не снижалась ниже уровня 400 млн. особей, что может свидетельствовать, видимо, о наличии благоприятных условий для воспроизводства. Некоторые исследователи склонны усматривать связь между данной вспышкой численности рекрутов трески и тенденцией к эвтрофикации Балтийского моря с 1960-х годов Р. Илмгрен [81] отмечает, что возрастание продукции планктона и биомассы бентоса, предположительно по причине эвтрофикации, способствовало развитию сельди, которая является потенциальным пищевым объектом для взрослой трески. Однако уже к 1982 г. число рекрутов снизилось до уровня 270 млн. особей и наметилась устойчивая тенденция к снижению урожайности трески. В последующие годы происходило резкое, драматическое сокращение числен-

ности рекрутов до минимального уровня примерно в 50 млн. особей к началу 1990-х годов. В дальнейшем, с 1993 г. наметилась слабая тенденция к возрастанию урожайности, однако численность рекрутов и к 2000 г. не превысила 200 млн. особей.

Биомасса нерестового стада (БНС) балтийской трески в середине 1960-х годов, как показано на рис. 2.12, оценивалась примерно в 200 тыс.т. В дальнейшем наблюдался относительно плавный её рост до значения 450 тыс. т. в 1978 г. Затем имело место резкое возрастание биомассы нерестового стада до уровня не менее 800 тыс. т. в 1980 г. В последующие четыре года значения биомассы медленно снижались, после чего, в середине 1980-х годов произошло очень резкое падение параметров этого показателя урожайности до уровня менее 100 тыс.т. в начале 1990-х годов.

Уловы балтийской трески в начале XX в. находились на весьма низком уровне, что, по-видимому, определялось малой интенсивностью промысла. Величина уловов с 1900 по 1934 г. не превышала 20 тыс. т. в год [97]. В этот период вылов рыбы осуществлялся главным образом при помощи сетей, устанавливаемых с малых судов и лодок в прибрежной зоне. Начиная с 1935 г. появилась заметная тенденция к возрастанию уловов. Стали применяться более эффективные орудия вылова – оттергратлы, активизировался промысел Дании.

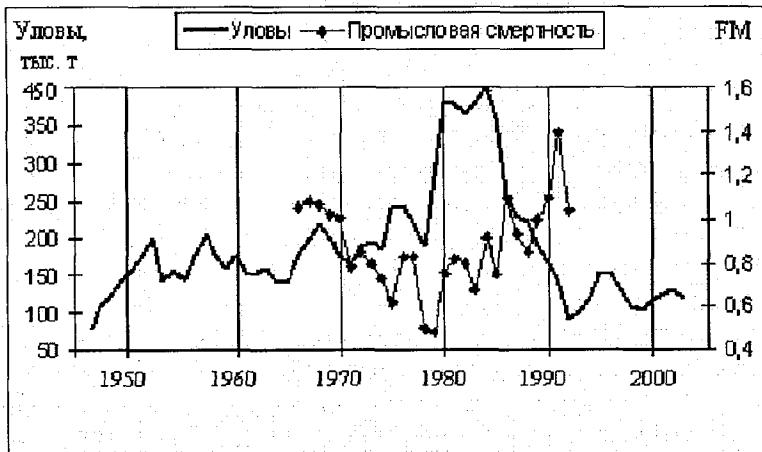


Рис. 2.13. Многолетняя динамика уловов и значений промысловой смертности восточно-балтийской популяции трески.

На рис. 2.13 представлена многолетняя динамика уловов и значения промысловой смертности для восточно-балтийской популяции трески. Как видно из рисунка 2.13, величины уловов в период с 1965 по 1976 г. не превышали 200 тыс.т. Затем проявилась тенденция к значительному возрастанию уловов до максимума в 400 тыс. т. в 1984 году. В дальнейшем наблюдалось резкое сокращение величин уловов, и в 1992 году они достигли минимального уровня, не превышающего 70 тыс.т. В последующие годы, на фоне введенных ограничений на вылов трески в Балтийском море, уловы продолжали оставаться на стабильно низком уровне, не превышающем 150 тыс. т в год. Следует заметить, что, несмотря на ускоренное развитие технологических сил общества в целом и рыбопромысловый отрасли в частности, начиная с 1950-х годов, величины уловов балтийской трески в первой половине и в конце XX в. вполне сопоставимы, что свидетельствует о том, что количество выловленной рыбы определяется не только интенсивностью промысла и применением всё более эффективных орудий лова, но и во многом зависит от условий её воспроизводства.

Промысловая смертность ( $FM$ ) меняется по периодам лет в зависимости от колебаний численности запаса – в периоды его высокой численности величина этого показателя обычно возрастает, как показано на рисунке 2.13. Выше среднего многолетнего значения промысловая смертность была в период с 1966 по 1970 г., когда основу промысла составляли урожайные поколения 1963 – 1964 гг. ( $FM = 1,16$  в 1967 г.). В период с 1971 по 1975 г. интенсивность промысла трески снизилась, что было обусловлено как низким запасом, так и уловом на усилие, в результате чего промысел трески стал менее рентабельным, чем промысел шпрота. В период с 1976 по 1977 г. вновь наблюдалось некоторое возрастание промысловой смертности, однако уже в 1978 г. последовал спад её значений до наименьших за рассматриваемый период ( $FM = 0,51$ ). Последующие годы продемонстрировали очередное возрастание значений  $FM$  с плавными межгодовыми колебаниями до уровня 1,1 в 1986 г. В дальнейшем, к 1988 г. последовало заметное снижение значений промысловой смертности до уровня 0,85, сменившееся резким ростом с максимумом в 1991 г. ( $FM = 1,4$ ).

Естественная смертность балтийской трески ( $M$ ) была определена в 1974 г. на международной конференции по запасам донных

рыб в Риге для восточно-балтийской популяции – 0,3, для западно-балтийской – 0,2 [55].

Сравнивая рисунки 2.12 и 2.13, отображающие многолетнюю изменчивость величин биомассы нерестового стада и уловов, не-трудно заметить, что динамика уловов во многом соответствует изменчивости значений биомассы нерестового стада. Это говорит о том, что промысел затрагивает в основном половозрелую часть популяции. Коэффициент корреляции ( $r$ ) в данном случае равен 0,82 при уровне обеспеченности ( $P$ ), равном 99 %. Величина промыслового изъятия от нерестового запаса для восточно-балтийской популяции трески изменялась в пределах от 34 % в 1978 г. до 80 % в 1991 г. Эти величины определяются состоянием и распределением запасов, интенсивностью промысла трески, последний показатель зависит от гидрометеорологических условий, состояния запасов других промысловых рыб и от организационных причин.

Рассмотрим далее особенности многолетней изменчивости показателей урожайности западно-балтийской популяции трески, установленные на основе экспериментальных данных и учете величин годовых уловов в территориальных водах Германии и Дании (подрайоны 22 – 24 Международной системы районирования промысла и учёта статистических данных по рыболовству) [54].



Рис. 2.14. Многолетняя динамика численности молодого поколения и биомассы нерестового стада западно-балтийской популяции трески в территориальных водах Германии.

В водах Германии численность молодого поколения трески (рекрутов), как видно из рисунка 2.14., демонстрирует значительные межгодовые колебания. Наиболее многочисленные поколения за рассматриваемый период времени возникали в 1972 и 1974 гг. (148 и 143 млн. особей соответственно). В дальнейшем, до 1983 г. урожайность молоди находилась на среднем уровне около 90 млн. особей, однако затем последовало резкое снижение численности молодого поколения до уровня около 24 млн. особей в 1985 г. и 12 млн. особей в 1988 г. Тем не менее, уже в начале 1990-х годов наметилась тенденция к некоторому увеличению урожайности и в 1992 г. численность молодого поколения трески достигла около 77 млн. особей. Биомасса нерестового стада, как показано на рисунке 2.10., в период с 1970 по 1977 г. испытывала значительные межгодовые колебания и находилась на среднем уровне – около 38 тыс.т. Затем, в 1980 г. наблюдалось её увеличение до уровня в 50 тыс.т., после чего последовало снижение и до 1985 г. значения биомассы нерестового стада трески оставались практически стабильными – в среднем на уровне около 40 тыс.т. Во второй половине 1980-х годов проявилась устойчивая тенденция к резкому снижению биомассы нерестового стада, что выразилось в семикратном уменьшении ее значений к 1992 г. по сравнению с уровнем 1980 г.



Рис. 2.15. Многолетняя динамика уловов и промысловой смертности западно-балтийской популяции трески в территориальных водах Германии.

На рис. 2.15. показана многолетняя динамика уловов в водах Германии. Заметно, что в период с 1965 по 1976 г. величины уловов, демонстрируя незначительные колебания, находились на высоком уровне, составляя в среднем около 48 тыс.т. Максимальный вылов за рассматриваемый период был характерен для 1973 г. – более 54 тыс. т. Затем последовало некоторое снижение величин уловов до значений 38 тыс. т. в 1980 г., сменившееся их незначительным возрастанием в начале 1980-х годов. Однако, начиная со второй половины 1980-х годов, возникла выраженная тенденция к резкому снижению вылова западно-балтийской трески. Минимальные значения уловов за рассматриваемый период были характерны для 1991 и 1992 гг. (соответственно 15 и 14.2 тыс. т). Таким образом, по сравнению с 1973 г. уловы сократились в 3,8 раза. При этом значения промысловой смертности в начале 1990-х годов, как видно из рис. 2.15., достигли своих наибольших значений ( $FM > 1,5$ ), что говорит об экстремально высоком воздействии в этот период антропогенного пресса на промысловый (нерестовый) запас трески.

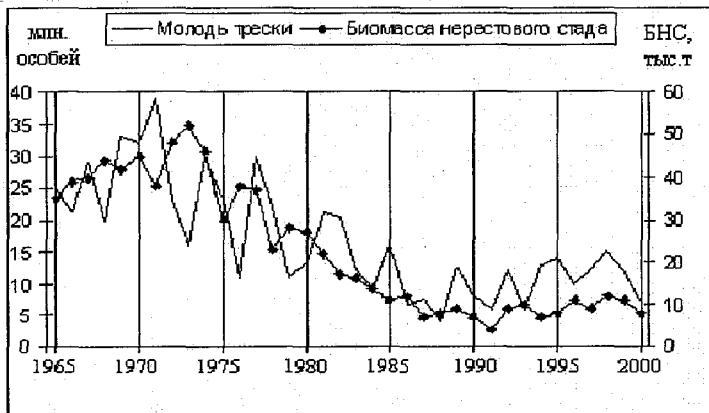


Рис. 2.16. Многолетняя динамика численности молодого поколения и биомассы нерестового стада западно-балтийской популяции трески в территориальных водах Дании.

В водах Дании численность рекрутов трески, как видно из рисунка 2.16., на протяжении всего рассматриваемого периода была подчинена единой в целом тенденции. На фоне существенных межгодовых колебаний наблюдается постепенное снижение урожайно-

сти молоди трески. Высокоурожайные поколения были свойственны для 1971 г. (38,3 млн. особей), 1974 г. (30,9 млн. особей.) и для 1977 г. (30 млн. особей.). В первой половине 1980-х гг. численность молодого поколения находилась на среднем уровне около 15 млн. особей., а в конце 1980-х годов, она достигла наименьшего уровня в 3,4 млн. особей. Для биомассы нерестового стада, как заметно из рис. 2.16., также свойственна единая тенденция к уменьшению на протяжении всего рассматриваемого периода, однако межгодовые колебания значений не столь велики, как у рекрутов. Наиболее высокие показатели были свойственны для периода с 1971 по 1974 г. В 1973 г. БНС достигла максимума и оценивалась в 51,9 тыс.т. С 1982 по 1985 гг. значения БНС находились практически на одном уровне около 17 тыс. т. В дальнейшем, в начале 1990-х годов, биомасса нерестового стада снизилась до рекордно низких значений, которые уступали периоду начала 1970-х годов в 7 – 10 (!) раз.

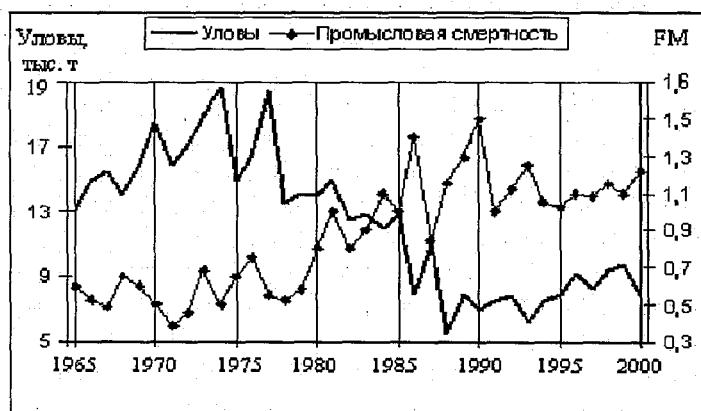


Рис. 2.17. Многолетняя динамика уловов и значений промысловой смертности западно-балтийской популяции трески в территориальных водах Дании.

Уловы западно-балтийской трески в водах Дании, как показано на рис. 2.17, в период с 1972 по 1977 г. находились на высоком уровне и составляли в среднем около 19 тыс. т, с максимальным значением 21,9 тыс.т в 1974 г. В 1978 г. уловы сократились до 13,4 тыс.т, однако в дальнейшем до 1986 г. их величины оставались практически стабильными, не опускаясь ниже 12 тыс.т. В 1988 г. уловы достигли минимума – 5,5 тыс.т.

Значения FM были наибольшими в 1987 и 1991 г. (1,33 и 1,44 соответственно).

Теперь, после рассмотрения многолетней динамики различных показателей урожайности восточно-балтийской и западно-балтийской популяций трески, сформулируем некоторые обобщающие выводы относительно наблюдающихся изменений.

Во-первых, наиболее заметными особенностями представленных рядов данных является формирование высокоурожайных поколений балтийской трески в первой половине 1970-х годов, а также чрезвычайно резкое снижение её урожайности и уловов в период с конца 1980-х по начало 1990-х годов.

Во-вторых, сравнив сроки возникновения наиболее многочисленных молодых поколений восточно-балтийской и западно-балтийской популяций трески, можно прийти к выводу о том, что в юго-западных районах моря (Дания) максимумы численности молодого поколения наблюдаются раньше, чем в южных (Германия), а в южных, раньше, чем в центральных. Например, в водах Дании наибольшая численность рекрутов наблюдалась в 1971 г., в водах Германии – в 1972 г., а в Центральной части моря пики численности наблюдались в 1973 и в 1976 гг. Для объяснения такой ситуации можно выдвинуть следующую предварительную гипотезу. Как было показано в разделе 2.2.3 настоящей работы, воспроизводство балтийской трески на основе экспериментальных данных во многом зависит от солёности и содержания растворённого кислорода. Известно, что океанологические условия в придонных горизонтах Балтики, которые являются нерестилищами для трески и других донных рыб, зависят от интенсивности и продолжительности поступления высокосолёных и обогащённых кислородом водных масс из Северного моря. В Балтийское море североморские водные массы проникают через Датские проливы, минуют воды Германии и способны достигать района Готландской впадины в Центральной части моря [5, 52, 73]. При этом время, затрачиваемое водными массами североморского происхождения для прохождения расстояния от Дании до Готландской впадины (около 600 км), может достигать от полугода до 9 и более месяцев [59]. В связи с этим, возможно предположить, что благоприятные условия для размножения на начальном пути следования североморских вод наступают раньше, чем на конечном. Не исключено также и то, что производители восточно-

балтийской популяции трески способны постепенно смещаться по направлению движения вод с оптимальными для успешного нереста океанологическими параметрами из района о. Борнхольм на северо-восток, и на заключительном этапе распространения североморских вод формируют значительные нерестовые скопления. Именно этим может быть объяснено наблюдаемое запаздывание наступления максимумов урожайности молодого поколения в центральных районах относительно юго-западных и южных на 1–2 года.

В-третьих, минимумы численности рекрутов западно-балтийской популяции трески наступают на 1–2 года раньше, чем это становится характерным для восточно-балтийской популяции. Например, в водах Дании минимум урожайности молодого поколения наблюдался в 1989 г., в водах Германии – в 1988 и 1990 гг., а в центральных районах моря, как заметно из рис. 2.12, в 1991 и 1992 гг. Временной сдвиг наступления минимумов численности по направлению с юго-запада на северо-восток также может быть объяснён исходя из характера продвижения трансформированных североморских вод.

В-четвертых, корреляционный анализ тесноты связи между многолетними рядами данных по численности молодого поколения трески в различных районах Балтийского моря показал, что существует значимая связь между динамикой численности рекрутов в водах Германии и в Центральной части моря ( $r = 0,313$  при  $P = 95\%$ ). При наличии временного сдвига численности рекрутов в водах Германии на 1 год вперёд относительно численности рекрутов в центральных районах, теснота связи между рядами значительно возрастает ( $r = 0,484$  при  $P = 99\%$ ). Между динамикой численности рекрутов в водах Дании и в центральных районах Балтики также существует значимая связь ( $r = 0,381$  при  $P = 95\%$ ), теснота которой возрастает при наличии временного сдвига численности молодого поколения в водах Дании на 1 год вперёд относительно численности рекрутов в Центральной части моря ( $r = 0,472$  при  $P = 99\%$ ). Таким образом, произведённые вычисления подтверждают в целом высказанные выше замечания о наличии запаздывания между экстремумами численности молодого поколения в центральной части моря относительно южных и юго-западных районов. Между численностью рекрутов в водах Германии и Дании наиболее тесная связь проявляется при отсутствии временного сдвига ( $r = 0,571$  при  $P = 99\%$ ).

В-пятых, между многолетней изменчивостью биомассы нерестовых стад трески в центральных районах и в водах Германии проявляется тесная корреляционная связь ( $r = 0,676$  при  $P = 99\%$ ). При наличии временного сдвига БНС в водах Германии относительно значений БНС в центральной части моря на 1 год теснота связи возрастает ( $r = 0,712$  при  $P = 99\%$ ). Между значениями БНС в водах Дании и Германии также наблюдается тесная связь ( $r = 0,701$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг отсутствует).

В-шестых, между многолетней динамикой уловов трески в различных районах Балтийского моря теснота связи значительно слабее, чем между динамикой численности молодых поколений и биомассы нерестовых стад. Колебания уловов в водах Германии и в центральных районах демонстрируют слабую тесноту корреляционной связи ( $r = 0,26$  при  $P = 95\%$ ). Однако при наличии временного сдвига уловов в водах Германии вперёд относительно уловов в центральных районах на 1 год теснота связи несколько возрастает ( $r = 0,311$  при  $P = 95\%$ ). Между колебаниями уловов в водах Дании и в Центральной части моря значимая корреляционная связь отсутствует ( $r = 0,027$ ). Как и при рассмотрении взаимосвязей между динамикой численности рекрутов и биомассой нерестовых стад, для рядов, характеризующих уловы в водах Дании и Германии также свойственна наибольшая теснота связи ( $r = 0,83$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг отсутствует), что говорит о единстве происходящих в южных и юго-западных районах Балтике процессов, определяющих показатели урожайности западно-балтийской популяции трески.

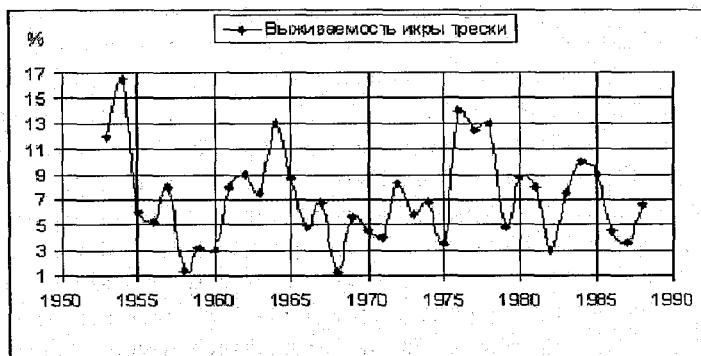


Рис. 2.18. Многолетняя динамика выживаемости икры балтийской трески в среднем на основных нерестилищах [92].

Рассмотрим далее многолетнюю изменчивость выживаемости икры балтийской трески в среднем на основных нерестилищах (рис. 2.18) которыми, как уже было указано выше, являются Готландская, Гданьская и Борнхольмская впадины. Максимальная выживаемость икры, исходя из имеющихся в распоряжении данных, наблюдалась в 1954 г. (16,5 %). Кроме того, для 1964, 1976 и 1978 гг. также были свойственны высокие показатели выживаемости икры (13, 14, и 13 % соответственно). Минимальные значения выживаемости икры наблюдались в 1958 и в 1968 гг. (1,4 % и 1,3 % соответственно). Низкая выживаемость икры была также характерна для 1960, 1982 и 1987 гг. (3, 3, 3,6 % соответственно). В целом визуально анализируя данные на рисунке 2.18, можно прийти к выводу о том, что степень выживаемости икры трески подвержена циклической изменчивости с периодом в 10 – 12 лет. В связи с этим возможно предположить наличие определенной связи между успехом в развитии эмбрионов трески и влиянием гелиогеофизических факторов, что потребует своего уточнения в будущих исследованиях.

Таблица 2.11

**Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между выживаемостью икры трески в среднем на основных нерестилищах и численностью её молодого поколения**

Параметр урожайности трески	Временной сдвиг относительно выживаемости икры, годы	Численность молоди в водах Дании	Численность молоди в водах Германии	Численность молоди в Центральной части моря
Выживаемость икры трески	0	-0,0601	0,044	0,301
	1	0,111	-0,103	0,375*
	2	0,252	0,261	0,157
	3	0,361*	0,097	-0,093

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, обозначенные знаком " \* ", соответствуют 95 %-ному уровню обеспеченности.

Проанализируем тесноту связи между многолетней изменчивостью выживаемости икры трески и другими показателями урожайности. В табл. 2.11 представлены коэффициенты корреляции между степенью выживаемости икры и численностью рекрутов в различных районах Балтийского моря. Выполненный анализ показал, что в водах Дании и в центральной части моря наблюдается значимая связь между выживаемостью икры и урожайностью молодого поколения.

ления. Максимальные коэффициенты корреляции получены при временном сдвиге численности рекрутов в водах Дании относительно выживаемости икры вперед на 3 года ( $r = 0,361$  при  $P = 95\%$ ) и при соответствующем сдвиге на 1 год ( $r = 0,375$  при  $P = 95\%$ ) в центральных районах моря. Полученные значения  $r$  свидетельствуют о том, что численность молодых поколений восточно-балтийской трески находится в слабой зависимости от выживаемости её икры. Подобная ситуация характерна также и для большинства других атлантических популяций трески [58].

Полученные результаты позволяют прийти также к предварительному выводу о том, что в водах Германии урожайность молоди трески практически не зависит от степени выживаемости ее икры, а определяется иными причинами.

Проанализируем далее степень тесноты связи между многолетней динамикой численности рекрутов трески в возрасте до 3 лет (ЧР) и биомассами нерестовых стад (БНС) в различных районах. Результаты расчетов представлены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

**Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между численностью рекрутов трески и биомассами её нерестовых стад**

Параметр урожайности трески	Временной сдвиг БНС относительно ЧР, годы	Рекруты в водах Дании	Рекруты в водах Германии	Рекруты в Центральной части моря
БНС трески соответствующего района моря	0	0,634**	0,411*	0,533**
	1	0,767**	0,488*	0,377*
	2	0,665**	0,268	0,176
	3	0,627**	0,305	0,016

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, обозначенные знаком “\*\*”, соответствуют 95 %-ному уровню обеспеченности, со знаком “\*” – 99 %-ному уровню.

Как видно из табл. 2.12, для всех районов характерна довольно высокая степень зависимости биомассы нерестового стада от численности молодого поколения трески.

В наибольшей мере это характерно для вод Дании (зона проливов), поэтому для данного района можно полагать, что БНС трески находится почти в определяющей зависимости от численности молодого поколения ( $r = 0,767$ ), что свидетельствует о высокой выживаемости молодых особей и их способности быстро пополнять нерестовое стадо. В водах Германии зависимость биомассы нересто-

вого стада от численности предшествующего молодого поколения выражена в значительно меньшей степени ( $r = 0,488$ ). В центральной части моря теснота связи между рассматриваемыми показателями урожайности трески, по мере возрастания временного сдвига БНС относительно численности рекрутов заметно снижается.

Таким образом, обобщая данные рис. 2.18. и результаты расчетов представленных в табл. 2.11 и 2.12, можно прийти к выводу о том, что для балтийской трески критический период, т.е. период в течении которого каждая особь находится в определяющей зависимости от влияния различных экологических факторов среды и смертность наиболее высока, включает не только стадии эмбрионального развития, но затрагивает весь первый, а возможно и второй год жизни. Наиболее благоприятные условия для скорейшего созревания особей старше 3-х лет характерны для вод Дании.

Теснота связи между биомассами нерестовых стад и уловами в водах Дании и Германии весьма значительна ( $r = 0,851$  и  $r = 0,878$  при  $P = 99\%$ ), т.е. в южной части Балтийского моря, так же как и в центральной, где соответствующий  $r = 0,91$ , промысел затрагивает прежде всего половозрелую часть популяции трески.

Треска является одним из основных экономически важных объектов рыболовства и главной промысловый породой среди донных рыб в Балтийском море. Кризисное состояние запасов балтийской трески в начале 1990-х годов вызвало обеспокоенность у большинства балтийских государств. По оценкам Международного совета по исследованию моря (ICES – International Council for the Exploration of the Sea) запасы балтийской трески с 1993 г. находятся ниже критического уровня [85,94,99]. Международная комиссия по рыболовству в Балтийском море (IBSFC – International Baltic Sea Fishery Commission) постоянно принимает меры, направленные для поддержания запаса трески на стабильном уровне и его восстановление. К таким мерам принадлежат введение специальных селективных окон в тресковых тралах, увеличение в них размера ячей для выпуска молодой трески непромысловых размеров, установление пониженных квот на вылов. В табл. 2.13 представлена динамика установленных квот на вылов трески в Балтийском море и степень их реализации в период с 1996 по 2006 г. [104].

Таблица 2.13

**Динамика уловов и реализация квот на вылов балтийской трески  
всеми странами (1996 – 2004 гг.)**

Параметр	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Общая квота на вылов трески, тыс. т	165	180	145	126	105	105	76	75	61,6
Реализация квоты, %	94,8	69,2	73,0	83,4	104,3	84,4	93,9	86,9	96,5

Из таблицы 2.13 видно, что, несмотря на все усилия международных организаций, восстановления запасов и уловов балтийской трески достичь не удается. Сохранение тенденции к дальнейшему снижению запаса привело к необходимости снизить величину допустимых уловов в 2004 г по сравнению с периодом 1996 – 1997 гг. фактически в 3 раза. В связи с этим всё настойчивее звучат требования представителей различных природоохранных организаций о необходимости введения запрета на вылов трески к востоку от о. Борнхольм, что способствовало бы восстановлению крупнейшей восточно-балтийской популяции, урожайность и уловы которой снизились наиболее значительно. Высказываются также мнения о полном запрете на вылов трески в Балтийском море. Однако реализация такой крайней меры весьма негативно отразилась бы на положении ряда рыболовецких и рыбоперерабатывающих предприятий региона, для многих из которых треска является основным экономически выгодным объектом промысла (стоимость трески почти в 10 раз превосходит стоимость выловленной балтийской сельди). В частности, в ответ на заявление Правительства Швеции о предполагаемом введении запрета на вылов трески, Профсоюзный комитет рыболовецких хозяйств Южного побережья Балтийского моря выступил с резким протестом, заявив, что введение запрета будет сопровождаться массовыми увольнениями рабочих и закрытием ряда предприятий [103, 104].

В сентябре 2003 г на заседании 29-й Сессии IBSFC, которая проходила в г. Вильнюсе (Литва), было принято решение о частичном запрете на вылов балтийской трески всеми странами с 16 июня по 15 августа, т.е. в период наиболее интенсивного икрометания

восточно-балтийской популяции. Такое решение представляется нам вполне оправданным.

На основании решений IBSFC общий допустимый улов (ОДУ) балтийской трески для России в 2001 г. был принят в размере всего лишь 5,25 тыс. т, что сравнимо с квотой выделенной на вылов трески Литве (около 4,5 тыс.т). На основе решений 30 Сессии IBSFC, проходившей осенью 2004 г. в г. Гдыня (Польша), квота для России на вылов трески в 2005 г. сократилась до уровня 3750 т. Уменьшились также соответствующие квоты и для других государств региона.

В 2006 г. министерства рыболовства стран Евросоюза на встрече в Брюсселе приняли решение об уменьшении квоты на вылов трески в Балтийском и Северном морях, сократив квоты стран-участниц на 15 %, а также на 5 % уменьшили количество дней, в течение которых траулеры могут находиться в море [104]. Следствием решения ЕС станет неизбежное подорожание трески в странах Северной Европы. Еврокомиссия (IBSFC) грозит шведским рыболовным предприятиям значительно увеличить размер штрафа за несоблюдение квот, поскольку и в прошлом шведы неоднократно нарушили закон квотах на вылов балтийской трески, а также сельди.

В 2007 г. тенденция к снижению квот на вылов балтийской трески продолжилась. Общие квоты сократились по сравнению с предшествующим годом еще на 10 % и в абсолютном своем значении не превышают 50 тыс. т.

Величины допустимого промыслового изъятия проходят Государственную экологическую экспертизу и утверждаются Правительством Российской Федерации.

Рассмотрим далее особенности многолетней динамики урожайности и уловов балтийских камбалообразных рыб, обладающих наибольшей экономической ценностью.

На рисунках 2.19 и 2.20 показана обобщённая динамика численности рекрутов в возрасте 2-х лет, биомассы нерестового стада, а также уловов и промысловой смертности балтийской речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах (южная часть моря – подрайоны 24 и 25 Международной системы районирования промысла и учёта статистических данных по рыболовству под эгидой ICES). Как видно из рис. 2.19, за рассматриваемый период численность рекрутов речной камбалы, на фоне значительной межгодовой изменчивости, демонстрирует в целом тенденцию к снижению.

Наибольшая урожайность молодого поколения речной камбалы наблюдалась в период с 1970 по 1973 г. Максимальная численность была достигнута в 1973 г. – 69,4 млн. особей. Затем последовал период резкого снижения урожайности, и в 1975 г. численность рекрутов составляла не более 41 млн. особей. В дальнейшем, (до 1987 г.) урожайность молодого поколения, испытывая более плавные колебания, оставалась в среднем на уровне около 40 млн. особей, после чего последовало значительное возрастание урожайности до уровня 59,5 млн. особей в 1989 г. Однако уже в 1991 г., проявилось наиболее резкое падение численности рекрутов речной камбалы до минимальных значений в 26,2 млн. особей. Для значений биомассы нерестового стада речной камбалы, как показано на рис. 2.19, также свойственна общая тенденция к снижению и значительные межгодовые колебания. Период с 1973 по 1976 можно признать в целом как высокоурожайный, значения БНС не снижалась ниже уровня в 30 тыс. т. Максимальное значение (около 34 тыс. т.) наблюдалось в 1975 г. С 1978 по 1981 гг. значения БНС речной камбалы находились на среднем уровне около 28 тыс. т. Для 1982 г. было характерно возрастание БНС до 31,5 тыс.т., после чего последовало продолжительное снижение биомассы нерестового стада до минимума в 1990 г. (21 тыс.т.).



Рис. 2.19. Многолетняя динамика численности молодого поколения и биомассы нерестового стада речной камбалы в Арконском и Борнхольмском бассейнах [91].

Для многолетней динамики уловов речной камбалы, как видно из рис. 2.20, характерны значительные межгодовые колебания без выраженной общей тенденции за рассматриваемый период. Наибо-

лее высокие значения уловов наблюдались в 1974 и 1989 гг. (6596 и 6632 т соответственно), самые низкие – в 1971 и 1992 гг. (4395 и 4121 т соответственно). В целом, период с 1978 по 1981 гг. характеризовался пониженными значениями уловов, а для периодов 1972 – 1977 и 1982 – 1989 гг. были свойственны высокие величины уловов речной камбалы в южной части Балтийского моря.

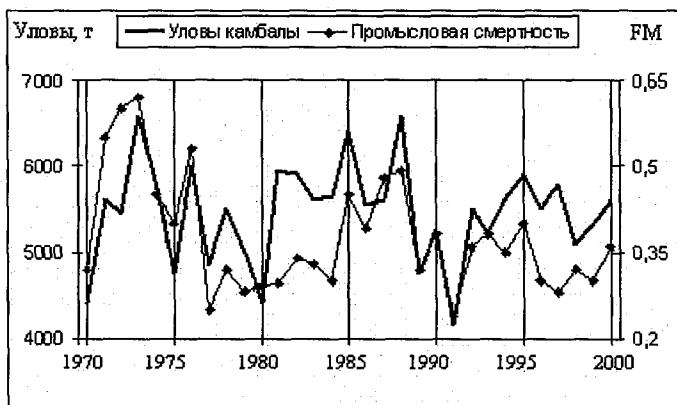


Рис. 2.20. Многолетняя динамика численности молодого поколения и биомассы нерестового стада речной камбалы в Арконском и Борнхольмском бассейнах [91].

В начале 1990-х годов наблюдалось наиболее выраженное снижение уловов – они сократились по сравнению с 1974 и 1989 гг. в 1,5 раза.

Между биомассой нерестового стада (БНС) и уловами речной камбалы, значимый коэффициент корреляции отсутствует ( $r = -0,012$ ), что говорит о том, что, в отличие от балтийской трески, промысел не затрагивает половозрелую часть популяции.

Значения промысловой смертности речной камбалы (рисунок 2.20), находятся в прямой и достаточно тесной связи с величинам уловов ( $r = 0,602$  при  $P = 99\%$ ). Максимального значения FM достигла в 1974 (0,6097). Минимальные значения отмечались в 1978 и в 1992 гг. (0,245 и 0,253 соответственно). В целом, для периода с 1972 по 1977 г. были свойственны наибольшие значения промысловой смертности, а для периода с 1978 по 1985 г. – наименьшие.

Проанализируем тесноту связи между рассмотренными рядами данных по урожайности речной камбалы. Результаты расчётов представлены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

**Коэффициенты корреляции между показателями урожайности речной камбалы в Арконском и Борнхольмском бассейнах.**

Показатель урожайности	Временной сдвиг БНС и уловов относительно ЧР	БНС	Уловы
Численность рекрутов (ЧР)	0	-0,071	-0,052
	1	-0,073	-0,164
	2	-0,223	-0,455*
	3	-0,311*	0,161

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, обозначенные знаком “\*”, соответствуют 95 %-ному уровню обеспеченности.

Из табл. 2.14 видно, что биомасса нерестового стада речной камбалы в южной части Балтийского моря слабо зависит от численности молодого поколения. Наличие отрицательного характера связи между численностью молодого поколения речной камбалы в возрасте 2-х лет и биомассой нерестового стада, отражающей численность особей в возрасте преимущественно 5 лет, можно объяснить следующей гипотезой. По-видимому, возникновение высокоурожайного поколения рекрутов приводит к обострению внутривидовой пищевой конкуренции в ограниченном районе, находящемся, как правило, вблизи от конкретного нерестилища, так как известно, что камбалообразные редко совершают протяжённые миграции и ведут в основном малоподвижный образ жизни. Способности речной камбалы к быстрому обнаружению другого участка с достаточным количеством донных пищевых объектов весьма ограничены. Кроме того, значительное возрастание количества молоди речной камбалы в регионе Южной Балтики, приводит также к обострению и межвидовой пищевой конкуренции, так как именно здесь общее видовое разнообразие ихтиофауны, в том числе и рыб, питающихся донными беспозвоночными, достигает максимума. В результате недостаток пищи, возможно, в совокупности с негативным воздействием ряда других факторов, приводит к некоторому сокращению численности популяции и к дальнейшему снижению параметров нерестового стада. Получение значимого отрицательного коэффициента корреляции между численностью рекрутов речной камбалы и её уловами можно объяснить аналогичным образом. Наличие значимой связи при более коротком временном сдвиге (2 года), чем в случае с БНС (3 года), говорит о том, что промысел затрагивает,

прежде всего, особей в возрасте около 4-х лет, которые ещё не успели пополнить иерестовое стадо.

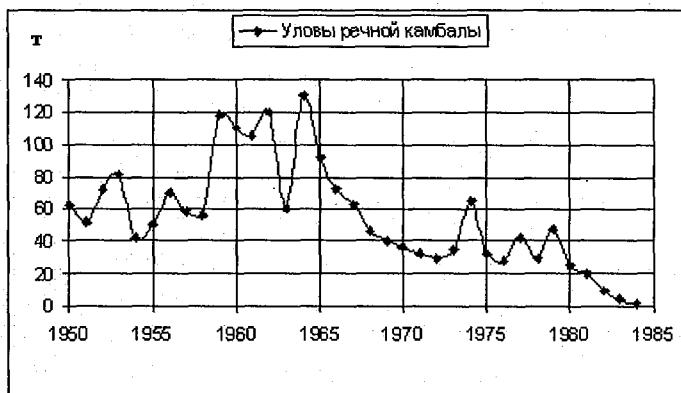


Рис. 2.21 Динамика уловов речной камбалы в бухте Кёге [104].

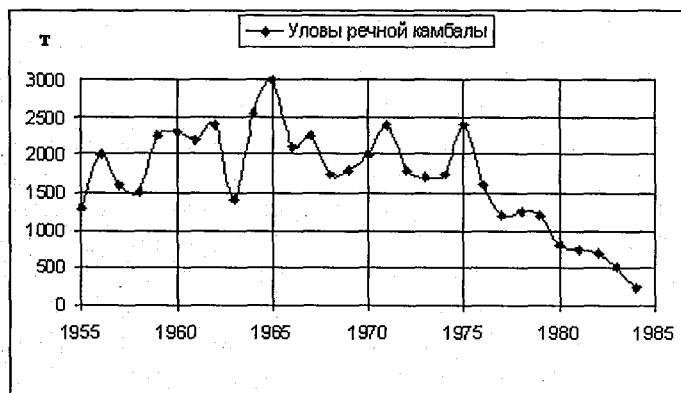


Рис. 2.22 Уловы речной камбалы в Центральной части моря. [55]

На рис. 2.21 представлена динамика годовых уловов балтийской речной камбалы в бухте Кёге (Дания), расположенной примерно в 30 км к югу от г. Копенгаген [104]. Мы видим, что на протяжении рассматриваемого периода можно выделить несколько характерных этапов. Во-первых, это период с 1950 по 1958 г., когда для уловов камбалы была характерна умеренная межгодовая изменчивость без выраженной тенденции, а значения уловов находились на среднем уровне около 60 т. Во-вторых, с 1959 по 1965 г. наблю-

далось резкое возрастание уловов с максимумом в 1964 г. (130 т.) и среднее значение за этот период составило 105 т в год. Значительная величина улова наблюдались также в 1962 г. (120 т.) В дальнейшем, для уловов речной камбалы была свойственна выраженная тенденция к снижению до минимальных значений, достигнутых в 1984 г. (13 т.). Исключением может являться период с 1973 по 1980 г., когда на фоне спада для величин уловов была свойственна повышенная межгодовая изменчивость. Таким образом, уловы камбалы в данном районе к середине 1980-х годов сократились в 10 раз.

Динамика уловов речной камбалы в центральной части моря (статистический подрайон 28, уловы в водах бывшего СССР) показана на рис. 2.22 [55]. Мы видим, что для величин уловов свойственна значительная межгодовая изменчивость, однако в период с 1955 по 1976 г. уловы находились на достаточно высоком уровне, составляя в среднем около 2000 т. в год. В 1965 г. уловы достигли максимума за весь рассматриваемый период – было выловлено около 3000 т. Высокие значения уловов наблюдались также в 1963 и 1975 гг. (2450 и 2400 т соответственно). Однако начиная с 1976 г. проявилась тенденция к резкому сокращению величин уловов и к середине 1980-х годов они снизились до значений менее 300 т в год, т.е. в 6 – 7 раз по сравнению с периодом 1960-х годов. Произведём сравнительный анализ многолетней динамики уловов речной камбалы в различных районах Балтийского моря. Результаты корреляционного анализа многолетних данных, представленных на рисунках 2.21 и 2.22, позволяют говорить о наличии достаточно тесной значимой связи между уловами в центральной части моря и в бухте Кёге (Дания) ( $r = 0,681$  при  $P = 99\%$ ), что может свидетельствовать о значительной преемственности процессов, определяющих уловы речной камбалы на акватории Балтийского моря. В то же время, значимая связь между уловами в центральной части моря и обобщёнными данными по уловам в Арконском и Борнхольмском бассейнах (статистические подрайоны 24 и 25) отсутствует ( $r = -0,0197$ ). Корреляционная связь между уловами в бухте Кёге и уловами в подрайонах 24 и 25 выражена слабо ( $r = 0,335$  при  $P = 95\%$ ). В связи с этим возможно предположить, что в юго-восточных районах Балтики, в частности, на крупнейшем здесь нерестилище в Борнхольмской впадине, учитывая повышенную сложность рельефа дна и характера течений на различных горизонтах, формируются океанологические и связанные с

ними экологические условия воспроизведения речной камбалы, отличные от тех, что имеют место в центральной части моря на Готландском нерестилище и к западу от о. Борнхольм.

Рассмотрим теперь особенности временной изменчивости уловов морской камбалы.

Данный вид семейства камбаловых рыб, как было отмечено в разделе 2.3.2 настоящего исследования, характеризуется значительно меньшей толерантностью к низкой солёности воды, чем речная камбала. Поэтому распространение морской камбалы в Балтийском море ограничивается только южной частью моря. На рисунке 2.19 представлена многолетняя динамика уловов в пр. Каттегат (юго-западный район Балтики). Заметно, что в период с 1964 по 1979 г. уловы демонстрировали значительные колебания и находились на среднем уровне около 13 тыс. т. в год. В 1968 и 1976 гг. уловы не превышали 10 тыс.т. в год, но в 1971 и 1972 гг. возросли до 16,5 тыс. т. В конце 1970-х годов наметилась тенденция к значительному снижению величин уловов. В результате в 1982 г. уловы морской камбалы составили только 3,5 тыс. т. В 1990 г. уловы достигли абсолютного минимума за рассматриваемый период – 2 тыс. т, после чего они стали очень медленно возрастать. Таким образом, для балтийской морской камбалы, так же как для трески и речной камбалы, было характерно многократное сокращение величин уловов в конце 1980-х и начале 1990-х годов.

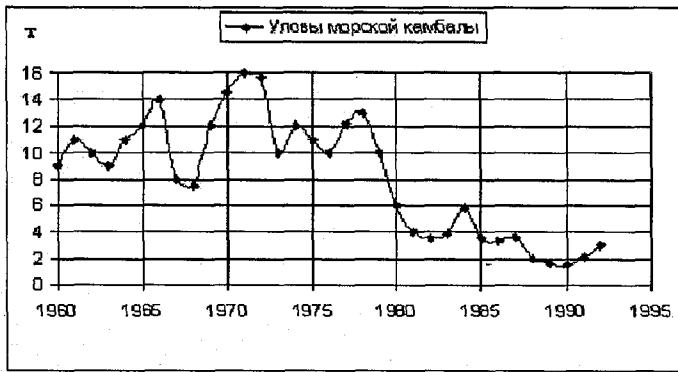


Рис. 2.23. Уловы морской камбалы в пр. Каттегат [85].

На рисунке 2.24 показаны особенности многолетних колебаний численности молодого поколения рыб в возрасте 1 года и биомассы

нерестового стада камбалы-лиманды в водах Дании (Belt Sea – район проливов Малый и Большой Бельт). Камбала-лиманда, так же как и морская камбала, является весьма требовательным видом к высоким значениям солёности воды. В связи с этим её распространение в Балтийском море ограничивается южными и юго-западными районами. Как видно из рис. 2.24., численность рекрутов лиманды, так же как и численность молодого поколения рассмотренных выше других видов донных рыб, подвержена значительной межгодовой изменчивости. Высокоурожайные молодые поколения возникали в 1964, 1974 гг. (71 и 96 млн. особей). Кроме того, выделяется высокоурожайный период с 1980 по 1983 г., когда численность рекрутов находилась на среднем уровне около 90 млн. особей. Вслед за этим последовало резкое снижение урожайности, и в 1985 г. численность рекрутов оценивалась на уровне в 40 млн. особей. На фоне межгодовых колебаний в 1989 г. урожайность молодого поколения достигает абсолютного минимума – 18 млн. особей, т.е. снижается по сравнению с периодом начала 1980-х годов в 5 раз. Однако уже в начале 1990-х годов численность молодых поколений лиманды начинает возрастать.

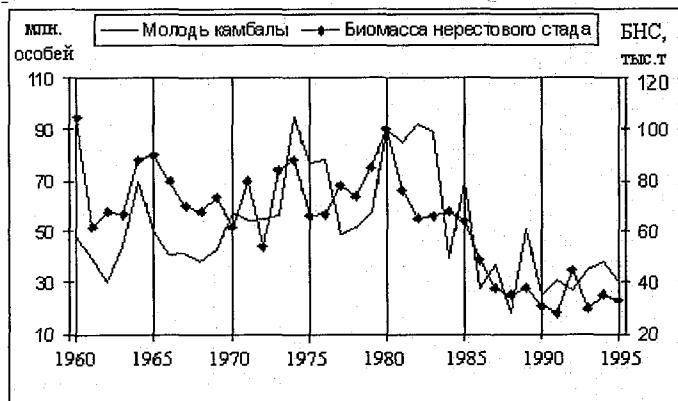


Рис. 2.24. Многолетняя динамика численности молодого поколения и биомассы нерестового стада камбалы-лиманды в территориальных водах Дании

Биомасса нерестового стада камбалы-лиманды, как видно на рис. 2.24, также испытывает периоды значительного возрастания и снижения, но амплитуда колебаний несколько меньше, чем это характерно для молодых поколений. Высокие значения БНС были

свойственны для 1960, 1965, 1980 гг. (78, 68 и 78 тыс. т соответственно). Низкие значения наблюдались в 1961 и 1972 гг. (47 и 44 тыс. т соответственно). В конце 1980-х годов биомасса нерестового стада начала неуклонно снижаться до своих минимальных значений достигнутых в 1991 г. – 25 тыс. т.

Таким образом, и здесь мы видим, что этап кризисного снижения БНС и урожайности молодого поколения лиманды, так же как и у других донных рыб, наблюдался в период с конца 1980-х по начало 1990-х годов.

Коэффициент корреляции между численностью молодого поколения и биомассой нерестового стада камбалы-лиманды в водах Дании при отсутствии временного сдвига между рядами  $r = 0,602$  при 99 %-ном уровне обеспеченности. При наличии временного сдвига БНС относительно численности рекрутов на 1 год  $r = 0,522$  ( $P = 99\%$ ), на 2 года  $r = 0,331$  ( $P = 95\%$ ), на 3 года  $r = 0,383$  ( $P = 95\%$ ). Выполненный анализ показал, что биомасса нерестового стада камбалы-лиманды находится в зависимости от урожайности её молодого поколения, однако данная связь не является весьма тесной.

Интересно, что в водах Дании проявляется достаточно тесная связь между динамикой параметров урожайности камбалы-лиманды и трески. Коэффициент корреляции между численностью рекрутов лиманды и трески  $r = 0,562$  при  $P = 99\%$  (временной сдвиг отсутствует). Коэффициент корреляции между БНС лиманды и трески  $r = 0,431$  при  $P = 99\%$ . Наличие общих черт в особенностях многолетней динамики, говорит о едином в целом характере влияния определяющего фактора или факторов на численность популяций различных видов донных рыб, что подтверждает правомерность объединения их в особую экологическую группу.

Балтийская камбала-турбо из семейства калкановые, несмотря на свою ценность и довольно широкое распространение, не принадлежит к числу массовых промысловых видов донных рыб. По этой причине данный вид изучен значительно менее подробно чем другие. В особенности мало объективных данных относительно многолетней динамики показателей урожайности турбо. Согласно данным IBSFC, промысел турбо ведётся преимущественно в подрайонах 25, 26 и 28, т.е. в южной и центральной частях Балтики. Общие уловы к 1984 г. достигли минимума и не превышали 200 т в год, но к середине 1990-х годов возросли до 1000 т. в год. По причине воз-

растющей интенсивности промысла с целью не допущения повторной деградации запасов данного вида в российском Атлантическом Научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) с 1995 года проводятся работы по искусственному воспроизводству камбалы-тюрбо. Группой Аквакультуры АтлантНИРО к настоящему времени разработаны методики и установки по выращиванию икры и молоди данного вида. Учитывая значительную коммерческую значимость тюрбо и высокий рыночный спрос на эту породу рыб на внутреннем и внешнем рынке, планируемые мероприятия по созданию рыборазводческих хозяйств на территории Калининградской области, а также по массовому выпуску молоди тюрбо в море следует признать обоснованными. Выпущенная в море рыба по причине слабой способности тюрбо к дальним миграциям останется локализованной в российском промысловом секторе.

Итак, подводя итог всему вышесказанному во второй главе, можно сформулировать следующие выводы относительно многолетней динамики показателей урожайности донных рыб Балтийского моря.

Во-первых, все используемые показатели динамики урожайности балтийской трески и камбалообразных рыб за соответствующие периоды наблюдений демонстрируют существенные межгодовые и многолетние колебания. Максимальная амплитуда колебаний свойственна для выживаемости икры и численности молодого поколения донных рыб в возрасте от 1 до 2 лет.

Во-вторых, наблюдается значительная теснота корреляционной связи между показателями урожайности трески в центральных и южных районах Балтики, а также речной камбалы. Установлена значимая связь между многолетней динамикой урожайности различных видов донных рыб, что говорит о единстве действующих на их воспроизводство абиотических процессов и экологических факторов среды.

В-третьих, в южной части Балтийского моря наступление максимумов и минимумов урожайности донных рыб происходит, как правило, на 1 – 2 года раньше, чем в центральных районах, что можно объяснить исходя из особенностей проникновения в Балтику и дальнейшего распространения водных масс североморского происхождения.

В-четвертых, во второй половине XX в. урожайность донных рыб Балтийского моря, на основе данных по выживаемости икры, количеству рекрутов и биомассам нерестовых стад, достигала наибольших значений в период с 1960 по 1965 г., а также со второй половины 1970-х по первую половину 1980-х годов. В это время отмечалось также значительное возрастание их уловов. Во второй половине 1980-х годов произошел резкий спад значений всех рассматриваемых показателей урожайности до наиболее низких уровней, который продолжался до первой половины 1990-х годов. Значения промысловой смертности к началу 1990-х годов достигли максимума, что может свидетельствовать о нарастающем воздействии антропогенного пресса даже в условиях значительного снижения нерестового и промыслового запасов донных рыб. При этом наибольшие значения промысловой смертности были характерны для западно-балтийской популяции трески в территориальных водах Германии ( $FM = 1,75$  в 1991 г.) Во второй половине 1990-х годов урожайность донных рыб несколько возросла, однако и в начале XXI в. продолжает оставаться на низком уровне, что заставляет вводить жесткие ограничения на их вылов.

Сложная ситуация с пополнением промысловых запасов трески сложилась не только в Балтийском, но и в Северном море. Международные экологические организации призывали Евросоюз наложить полный запрет на вылов трески в Северном море около британских берегов, поскольку, по их мнению, этот вид находится там под угрозой исчезновения вследствие многолетнего перелова [98, 104].

В целом в настоящее время промышленное рыболовство стало столь эффективным, что для вылова 80 % и более популяции рыбы, ставшей объектом интереса рыбаков, требуется в среднем не более 15 лет. Индустриальная ловля рыбы стала причиной того, что за последние десятилетия популяции различных видов крупных промысловых рыб, в том числе и трески, сократились в некоторых районах на 80 – 85 %, что поставило на грань исчезновения их из фауны океана. В связи с этим целью научного сообщества здесь должна являться разработка эффективных мер, направленных на бережное использование ресурсов Мирового океана, которые совсем не являются неистощимыми, как считалось в недавнем прошлом [2].

## **Глава 3.**

# **ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ УРОЖАЙНОСТИ ДОННЫХ РЫБ**

Установив в предшествующих главах характер взаимосвязей между гидрометеорологическими процессами в регионе Балтийского моря в целом, далее перейдем к рассмотрению и анализу степени и характера влияния изменяющегося климата, океанологических факторов среды и антропогенного пресса на показатели урожайности поколений донных рыб, т.е. к достижению главной цели настоящей работы.

### **3.1. Урожайность и уловы донных рыб в связи с изменчивостью климата и факторов среды**

В табл. 3.1. представлены коэффициенты корреляции между значениями показателей урожайности восточно-балтийской (Готландский район) и западно-балтийской (воды Германии и Дании) популяциями трески и абиотическими факторами среды в крупнейших впадинах Балтийского моря.

Анализируя данные таблицы 3.1 и результаты дополнительных расчетов, можно прийти к следующим выводам.

В отличие от большинства других атлантических популяций для трески Балтийского моря не обнаружено значимой связи непосредственно между интенсивностью атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и показателями урожайности ее молодых поколений. Однако это не означает, что крупномасштабные атмосферные процессы в Северо-Атлантическом регионе не оказывают влияния на биопродуктивность донных рыб Балтики. Основываясь на изложенной выше логической модели взаимосвязей между гидрометеорологическими процессами и экологическими факторами среды в регионе Балтийского моря, которая подтверждается статистическими расчетами, следует предположить, что Северо-Атлантическое колебание воздействует на урожайность донных рыб, учитывая районы и водные горизонты, в которых располагаются их нерестилища, не прямо, а косвенно, через цепочку причинно-следственных связей.

Таблица 3.1

**Коэффициенты корреляции между показателями урожайности молодых поколений (рекрутов) балтийской трески и абиотическими факторами среды на её нерестилищах.**

Факторы среды	Времен-ной сдвиг относи-тельно факторов среды, гг.	Выживаемость икры трески в среднем на основных нерестилищах	Числен-ность рекрутов трески в централь-ной части моря	Числен-ность рекрутов трески в водах Германии	Числен-ность рекрутов трески в водах Да-нии
Соленость в Готландской впадине, 240 м	0	0,113	0,624**	0,563**	0,623**
	1	—	0,712**	0,582**	0,601**
	2	—	0,671**	0,633**	0,582**
Соленость в Готландской впадине, 100 м	0	0,1006	0,477*	0,562**	0,481*
	1	—	0,602**	0,583**	0,442**
	2	—	0,668**	0,504**	0,551**
Кислород в Готландской впадине, 240 м	0	-0,066	0,426	0,655**	0,722**
	1	—	0,553**	0,751**	0,531**
	2	—	0,515*	0,323	0,225
Кислород в Готландской впадине, 90 м	0	0,521**	-0,143	-0,321	-0,336
	1	—	-0,201	-0,278	-0,232
	2	—	-0,282	-0,352	-0,058
Tw °C в Готландской впадине, 230 м	0	0,351*	0,463*	0,442*	0,422*
	1	—	0,712**	0,312	0,212
	2	—	0,507**	0,282	0,365
Tw °C в Готландской впадине, 100 м	0	-0,073	0,153	0,202	0,324
	1	—	-0,027	0,535*	0,542*
	2	—	-0,032	0,452	0,366
Солёность в Гданьской впадине, 100 м	0	0,135	-0,0012	0,258	0,408*
	1	—	-0,042	0,401*	0,114
	2	—	-0,072	0,201	0,352
Кислорода в Гданьской впадине, 100 м	0	0,354*	-0,035	-0,251	-0,381
	1	—	-0,141	-0,306	-0,186
	2	—	-0,284	-0,112	-0,211
Tw °C в Гданьской впадине, 100 м	0	-0,067	0,342*	0,217	0,341
	1	—	0,203	0,404*	0,423*
	2	—	0,195	0,251	0,332
Соленость в Борнхольмской впадине, 80 м	0	0,504**	-0,271	0,042	-0,323
	1	—	-0,235	-0,321	-0,343
	2	—	-0,292	-0,201	-0,177
Кислород в Борнхольмской впадине, 80 м	0	0,163	0,362*	0,203	-0,148
	1	—	0,282	-0,072	0,204
	2	—	-0,031	0,326	0,183

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком “\*\*”, соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком “\*” – 95 %-ному уровнююю обеспеченности.

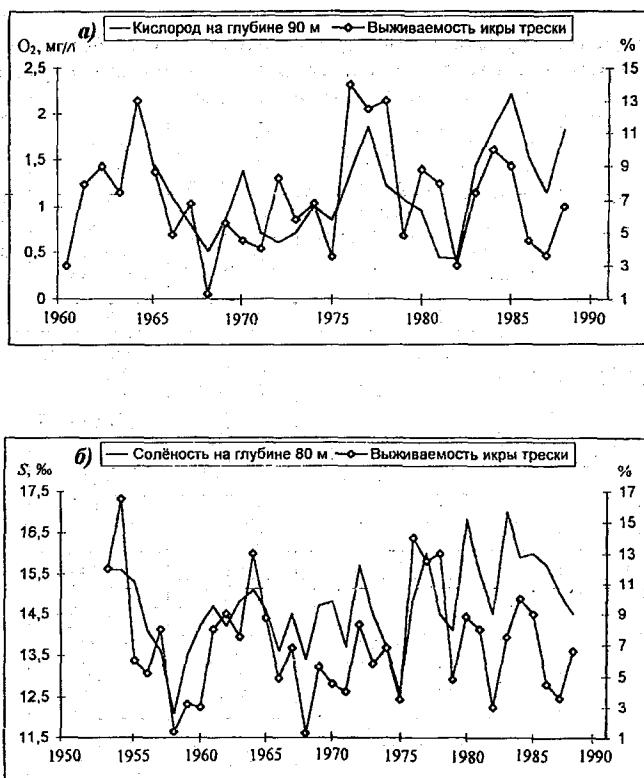


Рис. 3.1. Характер зависимости выживаемости икры трески от содержания растворённого кислорода в Готландской впадине на глубине 90 м (а) и солёности в Борнхольмской впадине на глубине 80 м (б).

Установлено, что между выживаемостью икры балтийской трески в среднем на основных нерестилищах и рассматриваемыми факторами среды, наибольшая теснота связи наблюдается со средними годовыми значениями концентрации кислорода в Готландской впадине на горизонте 90 м ( $r = 0,521$  при  $P = 99\%$ ). На рис. 3.1 а) представлен характер зависимости степени выживаемости икры трески от содержания растворенного кислорода в промежуточном слое Готландской впадины. Из данного рисунка видно, что минимальные (от 1,3 до 3,5 %) за рассматриваемый период значения выживаемости икры трески наблюдались в 1960, 1968 и 1982 гг. на фоне уменьшения концентрации растворённого кислорода до уров-

ня от 0,85 до 0,43 мг/л. Значительное возрастание выживаемости икры трески до значений от 9 до 14 % наблюдалось в период с 1976 по 1978 г., а также в 1984 и 1985 гг. на фоне возрастания концентрации кислорода до значений от 1,3 до 2,2 мг/л. Анализ эмпирических данных подтверждает результаты экспериментальных работ, в которых установлена тесная зависимость выживаемости икры трески от содержания растворённого кислорода [10, 21, 88]. В районе Готландской впадины можно отметить также не очень высокую, но значимую связь положительного характера между выживаемостью икры трески и температурой воды на глубине более 230 м. Повидимому, это может быть объяснено тем, что при понижении температуры воды возрастает время развития икры, что увеличивает вероятность её гибели от других причин.

В Борнхольмской впадине также наблюдается значительная зависимость выживаемости икры трески от влияния факторов среды. Достаточно тесная связь здесь проявляется с солёностью ( $r = 0,504$  при  $P = 99 \%$ ) и с температурой воды ( $r = 0,463$  при  $P = 99 \%$ ) в придонном горизонте. Сопоставление динамики солёности и выживаемости икры представлено на рис. 3.1, б. Удивительным является тот факт, что за весь рассматриваемый период (с 1953 по 1988 г.) солёность в Борнхольмской впадине не снижалась ниже минимальных пороговых для выживаемости икры трески значений, которые согласно экспериментальным данным [88], составляют от 11 до 12 %, т.е. условия для развития икры трески должны были быть благоприятными и динамики солёности как фактора среды не должна оказывать заметного влияния. Однако, как хорошо заметно из рис. 3.1, б, наибольшие значения выживаемости икры в 1954, 1964, 1976 и 1978 гг. наблюдались при возрастании солёности до значений от 15 до 16 %, а наименьшая выживаемость икры в 1958, 1960, 1968 и 1982 гг. совпадала со снижением солёности до значений от 11 до 14 %. Таким образом, можно предположить, что для оптимального развития икры трески западно-балтийской популяции необходимы несколько большие значения солёности, чем те, которые были экспериментально установлены для икры восточно-балтийской трески из района Готландской впадины. Следует также отметить, что биологические параметры икры трески западно-балтийской популяции, в том числе её несколько меньший диаметр по сравнению с икрой восточно-балтийской популяции, являются адаптацией к более вы-

соким значениям солености в среднем многолетнем плане и, соответственно, к большей плотности воды, чем в центральной части моря. Но для района Борнхольмской впадины, находящейся вблизи Датских проливов, как это было отмечено в разделе 1.7 настоящей работы, свойственны сезонные и межгодовые колебания солености, которые значительно превышают таковые в более удаленном от проливов районе Готландской впадины. При этом в периоды отсутствия или слабого затока солёных североморских вод в Борнхольмский район, значения солёности в придонном горизонте могут резко снижаться до 11 – 13 %, что приводит к соответствующему снижению плотности воды, в связи с чем икра западно-балтийской трески, в силу своего малого размера, лишается возможности нормально развиваться в толще воды и её смертность резко возрастает.

Помимо экологических факторов климатической и океанологической природы, на эмбрионы рыб и других животных, в том числе и человека, способны оказывать влияние также и гелиогеофизические факторы, связанные с деятельностью Солнца [69]. Несомненно, что наша родная звезда, своей интенсивной деятельностью, связанной с мощными гравитационными и электромагнитными полями, а также потоком заряженных частиц, воздействовала на эволюционный процесс возникновения клеточной жизни в далеком прошлом. Очевидно также, что жизнь на уровне клетки или эмбриона развивающегося многоклеточного организма наиболее подвержена воздействию различных факторов среды, в том числе и гелогеофизических, по причине отсутствия развитых систем органов, компенсирующих внешние воздействие и способствующих выработки адаптаций.

Существуют различные показатели активности Солнца. Однако наиболее распространенным и вполне эффективным индикатором интенсивности происходящих на нём процессов, связанных с выделением энергий, является число так называемых "солнечных пятен". О том, что на Солнце периодически возникают пятна, т.е. концентрические области, имеющие более тёмную окраину относительно общего фона, люди узнали уже очень давно. В древних русских и китайских летописях, а также в хрониках других народов нередко встречались упоминания о наблюдениях пятен на Солнце. Записи помогли подтвердить установленную уже позже (в 1841 г.) закономерность периодического увеличения числа солнечных пятен.

тен. Чтобы заметить такой объект простым глазом при наблюдении мер предосторожности — наблюдения производили через закопченное стекло или засвеченную негативную фотопленку — необходимо, чтобы его размер на Солнце был не менее 50 – 100 тыс. километров, что в десятки раз превышает радиус Земли. На современных обсерваториях для наблюдения Солнца применяют телескопы специальных конструкций — солнечные телескопы.

Солнце представляет собой огромный бурлящий котел плазмы, причем внутри оно горячее, а снаружи — холоднее. Из-за этого пепрепада температур возникают конвекционные потоки: остывшие массы идут вглубь, а на их место поднимаются более горячие. Этому процессу мешает сильное магнитное поле Солнца. Оказывается, что магнитные вихри могут локально приостановить конвекцию, не дать остывшим массам опуститься. В результате эта область на солнечной поверхности будет холоднее окружающих — и поэтому будет выглядеть темнее. Это и есть темное солнечное пятно.

Солнечное пятно может существовать от нескольких часов до нескольких месяцев. Размер пятен также широко варьирует, от «пор» — зародышей пятен — до гигантских площадей, в которые можно уложить по 100 земных глобусов. Появляясь из пор, группа пятен проходит стадию роста, в ходе которой они увеличиваются и расходятся, расползаются в разные стороны. Затем следует более продолжительная по времени стадия рассасывания пятен. Последним исчезает головное, по ходу вращения Солнца, пятно. После исчезновения пятна мощное магнитное поле на его месте сохраняется еще в течении некоторого времени.

Сами пятна по форме являются воронкой на видимой поверхности Солнца. Их глубину определяют в 1000 – 1500 км. Температура солнечного вещества в районе центра пятна ниже в сравнении с общей температурой поверхности, которая составляет примерно 5800 °C, на 1000 – 1500 °C. Поэтому центр пятна наблюдается как более темное остывающее образование, чем его края. В пятне различают тень — его центр, и полутинь, которая больше в радиусе в 2 раза и более. Края пятна окружены светлыми волокнистыми образованиями — фотосферными факелами. Температура в них выше на 2000 °C, чем в окружающем веществе, поэтому они выделяются по яркости свечения. Факелы продолжаются вверх через фотосферу в хромосферу, где образуют «факельные площадки», которые расши-

ряются с ростом высоты. В фотосфере поперечник факельной площадки может составлять 700 км, а уже на границе хромосферы и короны – 15 000 км. Факельные площадки появляются, растут и рассасываются согласно с ритмом солнечных пятен, но они могут существовать и без них. Сами по себе факелы живут дольше пятен – до 3-х или 4-х месяцев. Предполагается, что причиной их образования служат менее мощные, чем у пятна, магнитные поля.

Галилео Галилей в начале XVII в. одним из первых заметил, что пятна наблюдаются не всюду на Солнце, а, главным образом, на средних широтах, в пределах так называемых «королевских зон». Пятна образуются обычно в виде двух узких полос в пределах от 25 – 30° и до 8 – 12° северной и южной широты Солнца. Причем пики их образования повторяются с периодичностью от 7 до 17 лет. Этот цикл, составляющий в среднем 11 лет, четко прослеживается в широтности образования пятен. Когда исчезают последние пятна на нижних широтах (от 8 до 12°), начинают образовываться пятна на верхних широтах (от 25 до 30°). Новые пятна станут образовываться уже ниже этого уровня, они будут как бы сползать к нижним широтам. К концу цикла область образования пятен вновь окажется в пределах от 8 до 12° северной и южной широты. Начало цикла пятнообразования и минимум солнечной активности совпадают. Пятна, как правило, образуются группами или хотя бы парами. Пара пятен на одной широте находится в любопытной взаимосвязи. Прежде чем в фотосфере (видимом слое Солнца) образуется пятно, на месте его возникновения регистрируется очень мощное магнитное поле. Последнее может быть только замкнутым, оно-то и связывает пару пятен. Обычно силовые линии магнитного поля направлены из северного полюса объекта (будь то планета или Солнце) к южному, но здесь все не так просто. Направления силовых линий магнитных полей обратны для пар пятен северного и южного полушарий. Кроме того, магнитная полярность пятен меняется на противоположную после каждого 11-летнего цикла, что позволяет говорить не о 11-летнем, а о 22-х летнем солнечном цикле пятнообразования. В целом солнечное магнитное поле имеет очень сложную структуру и непрерывно меняется. Совместные действия циркуляции солнечной плазмы в конвективной зоне и дифференциального вращения Солнца постоянно возбуждают процесс усиления слабых магнитных полей и возникновения новых. Видимо, это обстоятельство и является

причиной возникновения на Солнце пятен. Пятна то появляются, то исчезают. Их количество и размеры меняются. Но примерно, каждые 11 лет число пятен становится наибольшим. Тогда говорят, что Солнце активно. С таким же периодом ( $\sim 11$  лет) происходит и переполюсовка магнитного поля Солнца. Естественно предположить, что эти явления связаны между собой.

Причиной цикличности в образовании пятен может являться приливное гравитационное воздействие крупнейшей планеты Солнечной системы – Юпитера, масса которого в 318 раз превосходит массу Земли. Период обращения Юпитера вокруг Солнца составляет 11 лет и 315 земных суток. Наряду с 11-летним циклом солнечной активности выделяют еще вековой цикл его нарастания и убывания. По разным данным он может варьироваться. Есть данные в пользу 60-летнего и 86-летнего циклов.

Число Вольфа – один из индексов солнечной активности, характеризующий пятнообразовательную деятельность Солнца. Вычисляется он по формуле:

$$W = k(f+10g), \quad (3.1)$$

где  $f$  – количество наблюдаемых на диске Солнца пятен,  $g$  – количество образованных ими групп,  $k$  – нормировочный коэффициент, выводимый для каждого наблюдателя и телескопа. Число Вольфа было предложено в 1849 г. швейцарским астрономом Рудольфом Вольфом (Rudolph Wolf, 1816 – 1896) и названо в его честь.

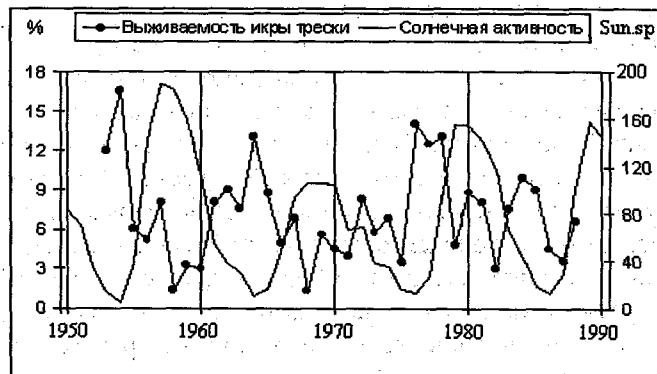


Рис. 3.2. Характер зависимости выживаемости икры балтийской трески от показателя солнечной активности.

На рис. 3.2 представлен характер зависимости между изменчивостью количества солнечных пятен на Солнце (Sun.sp) и выживаемостью икры балтийской трески (%). Соответствующий коэффициент корреляции  $r = -0,433$  при  $P = 99\%$ . Таким образом, мы видим, что возрастание числа пятен на Солнце достаточно ясно сопровождается снижением выживаемости икры трески. Стоит заметить, что аналогичный характер зависимости и практически такой же по значению коэффициент корреляции был обнаружен при анализе причин врождённых пороков развития у новорожденных детей в России и других странах.

Возможно Солнце оказывает влияние на эмбрионы многих групп животных в независимости от их таксономической принадлежности и уровня дальнейшего развития. Анализ взаимосвязей между солнечной активностью и численностью молоди трески в возрасте от 1 до 2 лет, показал, что в данном случае значимая связь отсутствует. Это может свидетельствовать о том, что на вполне созревшие организмы, обладающие развитыми системами большинства органов, энергетические потоки Солнца (кроме собственно теплового излучения) уже не могут оказывать определяющего влияния. Мы проанализировали влияние на икру и молодь трески также другого показателя солнечной активности – электромагнитного излучения 2800 MHz Серии С и D. И снова были получены значимые коэффициенты корреляции с динамикой выживаемости икры трески, соответственно  $r = -0,416$  и  $r = -0,414$  при  $P = 99\%$ . Характер связи не изменился, но теснота связи несколько уменьшилась. С молодью трески в возрасте от 1 до 2 лет связь по-прежнему отсутствует.

В активной области Солнца наблюдаются «солнечные вспышки» – мощные ядерные взрывы – непременный атрибут повышенной солнечной активности. Они делятся всего несколько минут (или секунд), но производят весьма сильный эффект. В межпланетное пространство выбрасывается огромное число заряженных частиц или ионов, которые попадая в атмосферу Земли, вызывают усиление северного сияния, магнитные бури и другие, более продолжительные эффекты. В момент вспышки происходит возрастание солнечного излучения почти во всех диапазонах – от рентгеновского до километровых радиоволн. А.Л. Чижевский был одним из первых, кто усмотрел в ионизированных солнечных частицах реальный механизм воздействия на биосферу Земли [69]. За свои исследования

воздействия ионов на все живое он получил титул отца космобиологии, как основатель науки, изучающей реальные механизмы воздействия космических излучений на живые организмы, человека и общество. Хотя еще до него Р. Вольф установил, что, например, существует взаимосвязь между свечением атмосферы в высоких широтах и вспышками на Солнце. До и после Вольфа были найдены и другие взаимосвязи: 1844, Гаутье – существует взаимосвязь между температурой воздуха у земной поверхности и числом пятачков на Солнце; 1858, Малле – связь пятачков с землетрясениями; 1872, Мелдрун – частота бурь, ураганов и смерчей, а также количество осадков пропорциональны числу солнечных пятачков; 1887, Зенгер – частота гроз и число пятачков. Другие статистические исследования установили связь числа пятачков и количеством добываемого вина, толщиной годовых колец у деревьев, величиной улова рыбы, размножаемостью и миграцией насекомых, количеством катастроф и преждевременных смертей.

Периодически космические спутники фиксируют выброс солнечных протуберанцев, характеризующийся необычно высоким уровнем рентгеновского излучения. Такие явления представляют серьезную угрозу для всей жизни на Земле. К счастью, поток энергии пока не затронул Землю и никаких ожидаемых неприятностей не случилось. Но само по себе подобное событие соответствует так называемому «солнечному максимуму», который сопровождается выбросом огромного количества энергии, способного вывести из строя коммуникации связи и силовые линии, трансформаторы, под угрозой будут находиться космонавты и космические спутники, находящиеся вне магнитного поля Земли и не защищенные атмосферой планеты. Существует угроза и для самолетов, выражаяющаяся в возможности прекращения радиосвязи, глушении радиосигналов. Александр Чижевский еще в 1920-х годах обнаружил, что солнечная активность влияет на экстремальные земные события – эпидемии, войны, революции... Земля не только обращается вокруг Солнца – все живое на нашей планете пульсирует в ритмах солнцедеятельности – установил он.

Солнце меняет состояние магнитосферы и атмосферы Земли. Магнитные поля и потоки частиц, которые идут от солнечных пятачков, достигают Земли и влияют прежде всего на мозг, сердечно-сосудистую и кровеносную системы человека, на его физическое, нервное и психологическое состояние. Чтобы всесторонне исследовать явления, происходящие на Солнце, проводятся систематиче-

ские наблюдения Солнца (служба Солнца) на многочисленных обсерваториях всего мира. Одна из основных задач службы Солнца – предсказание (прогноз) солнечных вспышек. Прогнозы вспышек позволяют своевременно предотвращать нарушения радиосвязи, а также принимать меры, необходимые для обеспечения безопасности пребывания человека в космическом пространстве.

В целом физические механизмы влияния различных энергий Солнца на живые объекты и климат Земли понятны далеко не полностью. Но имеется многочисленный фактический материал, подтверждающий реальность этого воздействия. Солнечные пятна сами по себе, конечно, не являются действующей причиной, но они являются хорошим индикатором интенсивности магнитного, электрического, интенсивности корпускулярных потоков, космических лучей и возможно иных не известных пока энергетических полей, которые способны влиять на процессы, происходящие в геосферах и биосфере Земли. Выявленный отрицательный характер зависимости между показателями солнечной активности и выживанием эмбрионов можно объяснить тем, что в периоды усиления активности Солнца и крупных вспышек магнитосфера Земли подвергается особенно сильному воздействию и не способна полностью оградить нашу планету от опасных излучений светила.

Рассмотрим далее степень и характер влияния океанологических факторов среды на молодь балтийской трески. Как следует из табл. 3.1. возрастание солёности, концентрации кислорода и температуры воды в Готландской впадине сопровождается закономерным увеличением численности молодого поколения восточно-балтийской трески (рекрутов) в возрасте от 1 до 2 лет в центральной части моря. Наибольшая теснота связи динамики численности рекрутов установлена с солёностью в придонном горизонте ( $r = 0,712$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг относительно солёности составляет 1 год). Графически данная связь представлена на рисунке 3.3 а. Из рисунка видно, что формирование наиболее урожайных поколений восточно-балтийской трески в 1972 и 1973 гг. в 1976 и 1977 гг., а также в 1979 и 1980 гг., наблюдалось на фоне возрастания солёности в придонном горизонте Готландской впадины до 12,8 – 13,2 %. Однако с середины 1980-х годов возникла отчетливая тенденция к снижению солёности. При этом урожайность молоди трески в нача-

ле 1990-х годов снизилась по сравнению с высокоурожайным периодом 1976 и 1977 гг. почти в 8 раз !

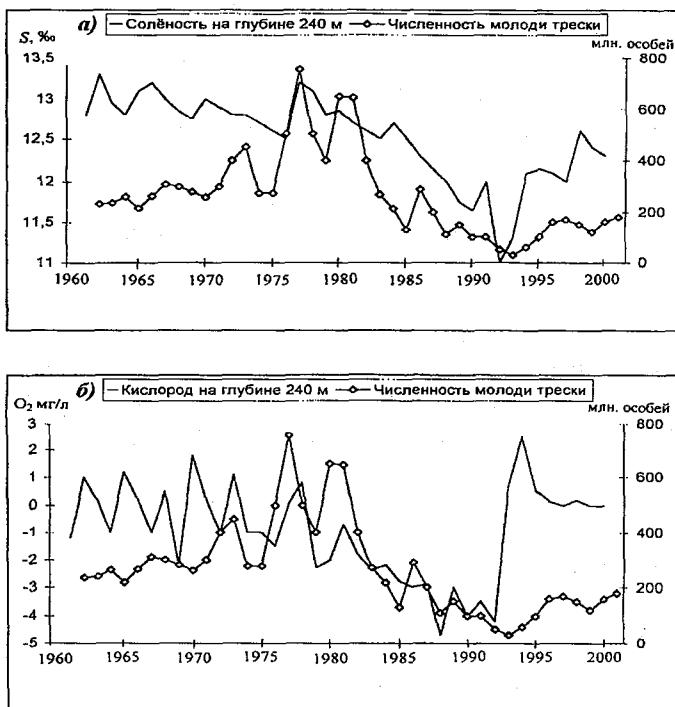


Рис. 3.3. Характер зависимости между численностью молодого поколения восточно-балтийской популяции трески от солёности (а) и концентрации кислорода (б) в придонном горизонте Готландской впадины. Временной сдвиг численности молоди относительно факторов среды составляет 1 год.

Между соленостью в промежуточном слое Готландской впадины (глубина 100 м) и численностью рекрутов в Центральной части моря также получены значимые коэффициенты корреляции, но теснота связи здесь меньше ( $r = 0,602$  и  $r = 0,668$  при  $P = 99\%$  соответственно при наличии временного сдвига численности рекрутов относительно значений солёности на 1 и 2 года). Зависимость численности рекрутов восточно-балтийской трески от содержания растворённого кислорода (рис. 3.3, б), проявляется в придонном горизонте Готландской впадины ( $r = 0,553$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг относительно концентрации кислорода составляет 1 год), в то

время как с концентрацией кислорода в промежуточном слое на глубине 90 м значимая связь отсутствует.

Интересным является также факт наличия тесной корреляционной связи между динамикой численности рекрутов трески и температурой воды в Готландской впадине на глубине 230 м с заблаговременностью в 1 год ( $r = 0,712$  при  $P = 99\%$ ). Наглядно характер данной зависимости представлен на рисунке 3.4. Большинство специалистов ранее не учитывали воздействие на урожайность трески такого важного фактора среды как температура воды, полагая, что в условиях более тёплого относительно других морей Северной Атлантики Балтийского моря, температура не должна оказывать значительного влияния на ход процесса развития молоди. Между температурой воды в промежуточном горизонте Готландской впадины и численностью рекрутов в центральной части моря значимая связь отсутствует. В целом, можно прийти к заключению о том, что молодь трески находится в большей зависимости от влияния солености, концентрации кислорода и температуры воды именно в придонном горизонте Готландской впадины на глубинах более 200 м, чем в промежуточном. Возможно, это связано с успехом прохождения критического периода зимовки, когда молодые особи удаляются от побережья и концентрируются именно в глубинных и придонных горизонтах.

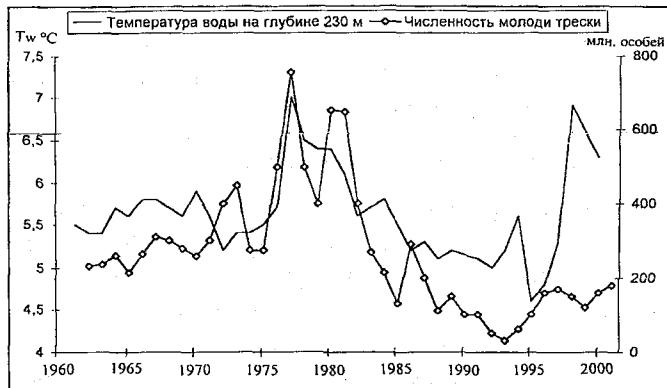


Рис. 3.4. Характер зависимости между численностью молодого поколения восточно-но-балтийской популяции трески и температурой воды в придонном горизонте Готландской впадины. Временной сдвиг численности молодого поколения относительно температуры воды составляет 1 год.

Динамика урожайности молодых поколений западно-балтийской трески, как видно из табл. 3.1, также демонстрирует значительную тесноту связи с факторами среды. При этом из всех трех впадин наибольшие коэффициенты корреляции получены с факторами среды в Готландской впадине. Так, коэффициенты корреляции между численностью рекрутов трески в водах Германии и соленостью, а также концентрацией кислорода в придонном горизонте Готландской впадины соответственно  $r = 0,633$  и  $r = 0,751$  при  $P = 99\%$ . Почти аналогичную тесноту и характер связи с солёностью и концентрацией кислорода демонстрируют рекруты трески в водах Дании. С температурой воды в придонном горизонте Готландской впадины молодь трески западно-балтийской популяции имеет значительно менее тесную связь, чем рекруты восточно-балтийской популяции, но эта связь является значимой при  $P = 95\%$  ( $r = 0,442$  для молоди трески в овдах Германии и  $r = 0,422$  для трески в водах Дании, временной сдвиг отсутствует). В отличие от молоди трески в центральной части моря, для рекрутов в водах Германии и Дании отмечается наличие значимой связи с температурой воды и в промежуточном горизонте Готландской впадины на глубине 100 м (соответственно  $r = 0,535$  и  $r = 0,542$ , временной сдвиг относительно температуры воды составил 1 год). Наличие достаточно тесной связи между динамикой численности рекрутов трески в западных районах моря с изменчивостью величин факторов среды в Центральной Балтике говорит о том, что изменчивость гидрохимического режима в Готландской впадине отражает ход единых крупномасштабных океанологических процессов, связанных со значительным по времени и объему поступлением североморских вод, сходным образом влияющих на биологическую продуктивность донных рыб как в западных, так и в восточных районах моря. Кроме того, нельзя исключать возможность периодических миграций части молодых особей трески из западных районов в восточном направлении.

Между динамикой значений факторов среды в Гданьской впадине и урожайностью молодых поколений западно-балтийской трески существует не очень тесная, но значимая связь. Получены значимые при 95 %-ном уровне обеспеченности коэффициенты корреляции между температурой воды на горизонте 100 м в Гданьской впадине и численностью молоди трески в водах Германии и Дании. Характер этих связей представлен на рис. 3.5. Между солё-

ностью в придонном горизонте Гданьской впадины и численностью рекрутов трески в водах Германии  $r = 0,401$  при  $P = 95\%$ , временной сдвиг относительно солёности составил 1 год (рис. 3.6).

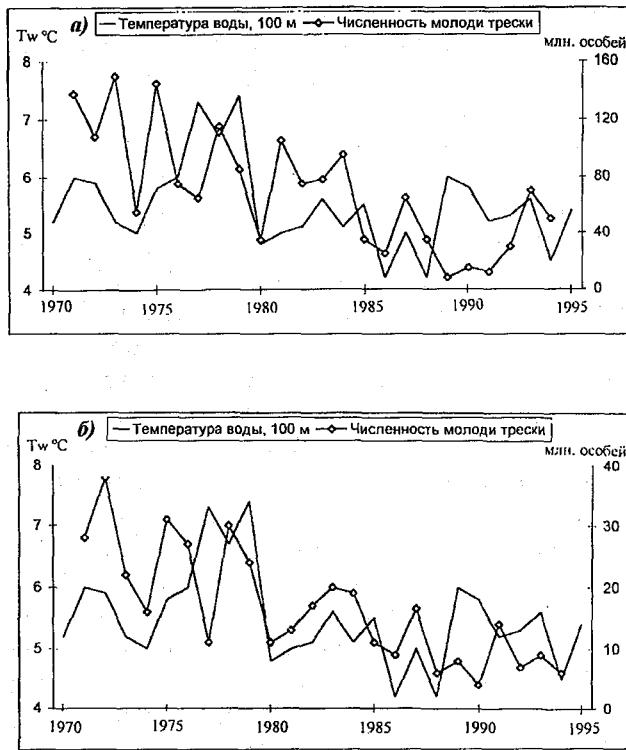


Рис. 3.5. Характер зависимости между численностью молодого поколения западно-балтийской трески в водах Германии (а) и Дании (б) и температурой воды в придонном горизонте Гданьской впадины. Временной сдвиг численности молоди относительно температуры воды составляет 1 год.

Установлено наличие достаточно тесных связей между динамикой численности молодых поколений популяций балтийской трески и изменчивостью уровенного режима между южной частью Датских проливов и северной частью пр. Каттегат. От величины разности уровней моря между данными районами, как было показано в разделе 1.9 настоящей работы, во многом зависит поступление соленых североморских вод с высоким содержанием растворённого кислорода в Балтийское море.

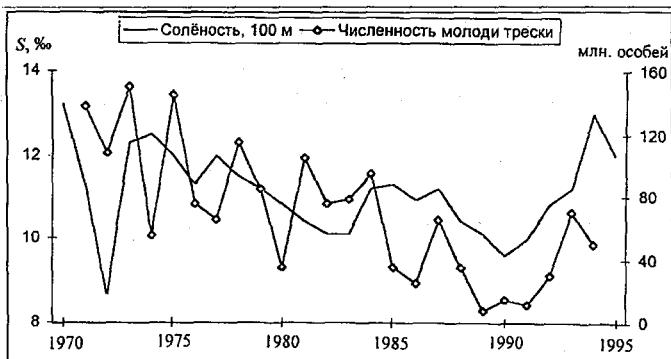


Рис. 3.6. Характер зависимости между численностью молодого поколения западно-балтийской трески в водах Германии и солёностью воды в придонном горизонте Гданьской впадины. Временной сдвиг численности молодого поколения относительно солености воды составляет 1 год.

На рисунке 3.7 представлено сравнение многолетней изменчивости величин разностей уровней моря на постах Смоген и Гедсер с динамикой численности молоди трески восточно-балтийской и западно-балтийской популяций. Коэффициенты корреляции между разностями уровней моря на данных постах в среднем за осенний период и численностью рекрутов трески в центральной части моря и в водах Германии равны соответственно  $r = 0,531$  и  $r = 0,522$  при  $P = 99\%$ . Как заметно из рис. 3.7, в 1990 г. разность уровней на постах Смоген и Гедсер достигла своих наименьших значений за счет экстремально высокого поднятия уровня моря в южной части Датских проливов, что создало значительное препятствие для проникновения водных масс из Северного моря. На этом фоне численность молодой трески, как в восточных, так и в западных районах моря, снизилась до минимальных значений с середины 1960-х годов. Между средней за осенний период разностью уровня моря на постах Смоген и Кобенхавн и урожайностью молоди восточно-балтийской и западно-балтийской трески также наблюдается значимая связь ( $r = 0,405$  и  $0,391$  при  $P = 95\%$ ). Таким образом, соотношение уровня моря в юго-западной Балтике и в северной части пр. Каттегат может служить не только индикатором приточной составляющей водообмена между Северным и Балтийским морями, но и достаточно точно отражать динамику урожайности трески. При этом сама величина разности уровня моря между постами наблюдений не может, ко-

иично, являясь экологическими фактором в данном случае, но от ее значений зависит интенсивность процесса поступления на нерестилища донных рыб водных масс с благоприятными для их воспроизведения значениями конкретных экологических факторов среды, таких как солёность и содержание растворенного кислорода.

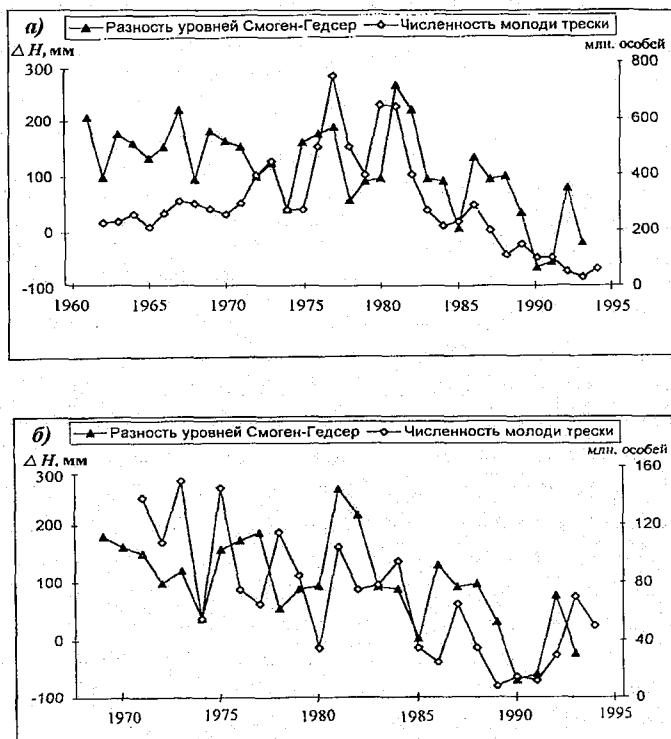


Рис. 3.7. Сравнение многолетней динамики разностей уровня моря между постами Смоген и Гедсер в среднем за осенний период с численностью молодого поколения восточно-балтийской трески (а) и западно-балтийской (б) в водах Германии. Временной сдвиг численности молодого поколения относительно разности уровней составляет 1 год.

Значимая связь между значениями разностей уровня моря между постами Владиславово и Гедсер, а также Владиславово и Эсбьерг с соленостью и концентрацией кислорода отсутствует, и соответственно не наблюдается тесной положительной связи и с показателями урожайности популяций балтийской трески.

Получение наибольших значений коэффициентов корреляции при наличии временного сдвига численности рекрутов трески относительно рассматриваемых факторов и характеристик среды на 1 – 2 года объясняется тем, что рекруты представляют собой особей рыб в возрасте от 1 до 2 + лет, и их численность в данный момент отражает условия воспроизводства на нерестилищах в соответствующий момент в прошлом.

В целом на основе анализа имеющихся в распоряжении данных можно прийти к выводу о том, что динамика выживаемости икры и урожайность молодых поколений балтийской трески, находится в тесной зависимости от изменчивости естественных условий среды. Определяющими экологическими факторами, от влияния которых зависит численность молодого поколения трески являются солнечность, концентрация растворенного кислорода, а также температура воды на нерестилищах. В свою очередь, изменчивость количественных значений выделенных экологических факторов, как это было показано в разд. 1.9 настоящей работы, определяется динамикой климата над Северной Атлантикой, океанологическими и гидрологическими процессами в регионе Балтийского моря.

Оценим достоверность полученных коэффициентов корреляции. Как известно, для оценки действительного значения коэффициента корреляции при длительности рядов  $n < 30 - 40$  членов и  $r > 0,5$  используется преобразование Фишера, согласно которому коэффициент корреляции выборочных совокупностей приравнивается к гиперболическому тангенсу некоторой величины [70].

$$r = \operatorname{th} z. \quad (3.2)$$

Отсюда

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}. \quad (3.3)$$

Распределение величины  $z$  почти не зависит от  $n$  и  $r$  и с возрастанием  $n$  быстро приближается к нормальному со средним значением

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r^*}{1-r^*} + \frac{r^*}{2(n-1)} \quad (3.4)$$

и дисперсией

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-3}. \quad (3.5)$$

Следовательно, ошибка величины  $z$  не зависит от значения эмпирического (выборочного) коэффициента корреляции.

С помощью статистики  $z$  проверяется значимость выборочных коэффициентов корреляции, а также определяются доверительные границы. Доверительные границы образуют интервал, в пределах которого в зависимости от данного объёма выборки с определённой доверительной вероятностью ( $P$ ) заключено действительное (генеральное) значение оцениваемого параметра, в данном случае коэффициента корреляции. Интервальные оценки позволяют судить, насколько близка выборочная оценка к действительному значению параметра. Определение доверительных границ для случаев, когда  $r$  достаточно велико, осуществляется исходя из следующего соотношения

$$z^* - t_{\alpha} \sigma_z < z < z^* + t_{\alpha} \sigma_z. \quad (3.6)$$

Здесь  $z^*$  – эмпирическое значение статистики, устанавливаемое по специальной таблице [70] в зависимости от значения выборочного коэффициента корреляции;  $z$  – истинное значение статистики в генеральной совокупности;  $t_{\alpha}$  – значение нормированной ординаты;  $\sigma_z$  – среднее квадратическое отклонение величины  $z$ .

Найдем доверительные границы для коэффициентов корреляции, отражающих меру тесноты связи между численностью рекрутов балтийской трески и солёностью, концентрацией растворенного кислорода и температурой воды на нерестилищах.

1. Выборочный коэффициент корреляции между численностью рекрутов трески и солёностью в придонном горизонте Готландской впадины  $r^* = 0,71$ . Значение величины  $z^* = 0,88$ , величина  $t_{\alpha}$  при  $P = 0,95$  для нормального закона распределения равна 1,96,  $\sigma_z$  при  $n = 26$  равно 0,208. Отсюда согласно (4.5)

$$0,47 < z < 1,28$$

или, переходя к значениям коэффициентов корреляции,  
 $0,44 < r < 0,85$

Таким образом, истинное значение коэффициента корреляции заключено в интервале от 0,44 до 0,88 с вероятностью 95 %. Выбо-

рочный коэффициент корреляции попадает в установленный доверительный интервал, его значение ближе к верхней границе.

2. Выборочный коэффициент корреляции между численностью рекрутов трески и концентрацией растворенного кислорода в придонном горизонте Готландской впадины  $r^* = 0,56$ . Значение величины  $z^* = 0,63$ , величина  $t_6$  при  $P = 0,95$  для нормального закона распределения равна 1,96,  $\sigma_z$  при  $n = 26$  равно 0,208. Отсюда согласно (3.6)

$$0,22 < z < 1,0406$$

или, переходя к значениям коэффициентов корреляции,

$$0,21 < r < 0,77$$

Следовательно, истинное значение коэффициента корреляции находится в интервале от 0,21 до 0,77 с вероятностью 95 %. Выборочный коэффициент корреляции попадает в доверительный интервал, его значение ближе к верхней границе.

3. Эмпирический коэффициент корреляции между численностью рекрутов трески и температурой воды на глубине 200 – 230 м в Готландской впадине  $r^* = 0,71$ . Значение величины  $z^* = 0,88$ , величина  $t_6$  при  $P = 0,95$  равна 1,96, значение  $\sigma_z$  при  $n = 22$  равно 0,23. Далее согласно (3.6) имеем:

$$0,43 < z < 1,33$$

или,

$$0,405 < r < 0,87$$

Таким образом, значение соответствующего коэффициента корреляции в генеральной совокупности данных принадлежит интервалу значений от 0,405 до 0,87 с вероятностью 95 %. Эмпирический коэффициент корреляции попадает в доверительный интервал, его значение, так же как и в предшествующих случаях, ближе к верхней границе интервала.

Итак, выборочные оценки коэффициентов корреляции достаточно близки к своим действительным значениям. Полученные результаты позволяют рассчитать уравнения регрессии между числом молодых особей – рекрутов (ЧРекр.) балтийской трески и параметрами среды.

1. Уравнение регрессии между числом рекрутов восточно-балтийской трески и солёностью в придонном горизонте Готландской впадины с заблаговременностью в один год имеет вид:

$$\text{ЧРекр.} = 217,705 S\% - 2446,75$$

Коэффициент корреляции между наблюдёнными и рассчитанными по составленному уравнению регрессии значениями количества рекрутов трески  $r = 0,655$  ( $r^2 = 0,43$ ). Следовательно, данное уравнение описывает почти половину исходной дисперсии динамики численности рекрутов. Приведенное на рис. 3.8 сопоставление рассчитанных и наблюденных значений численности рекрутов показывает, что полученное уравнение регрессии хорошо отражает малые и средние значения урожайности балтийской трески. Средняя разность между наблюдёнными и рассчитанными значениями составляет 23 %, что позволяет успешно использовать данное уравнение регрессии в качестве модели с целью прогноза и интерполяции.



Рис. 3.8. Сравнение рассчитанных по уравнению регрессии (предиктор – солёность в придонном горизонте Готландской впадины) и наблюденных значений численности молоди восточно-балтийской популяции трески.

2. Уравнение регрессии между числом рекрутов трески восточно-балтийской популяции и концентрацией кислорода в придонном горизонте Готландской впадины с заблаговременностью в один год имеет вид:

$$\text{ЧРекр.} = 59,67O_2 \% + 421,66$$

Коэффициент корреляции между наблюдёнными и рассчитанными по уравнению регрессии значениями числа рекрутов трески  $r = 0,545$  ( $r^2 = 0,3$ ). Следовательно, полученное уравнение описывает одну треть исходной дисперсии изменчивости численности молоди трески. На рис. 3.9 приведено сопоставление рассчитанных и наблюденных значений численности рекрутов. Видно, что составленное уравнение достаточно хорошо отражает значения урожайности трески, близкие к средним. Разность между наблюдёнными и рассчитанными значениями составляет 28 %, что также позволяет рассматривать данное уравнение регрессии в качестве модели, однако при этом точность определения значений не всегда будет достаточна высокой.



Рис. 3.9. Сравнение рассчитанных по уравнению регрессии (предиктор – содержание растворённого кислорода в придонном горизонте Готландской впадины) и наблюдённых значений численности молодого поколения восточно-балтийской трески.

3. Уравнение регрессии между численностью молоди восточно-балтийской трески и температурой воды в придонном горизонте Готландской впадины с заблаговременностью в один год имеет вид:

$$\text{ЧРекр.} = 163,85 Tw^\circ\text{C} - 653,28$$

Коэффициент корреляции между наблюдёнными и рассчитанными по данному уравнению регрессии значениями количества рекрутов трески  $r = 0,684$  ( $r^2 = 0,46$ ). Таким образом, полученное уравнение описывает почти половину исходной дисперсии динами-

ки численности рекрутов. На рис. 3.10 представлено сопоставление рассчитанных и наблюдённых значений численности рекрутов. Заметно, что составленное уравнение регрессии особенно хорошо отражает минимальные и максимальные значения урожайности трески. В области же значений урожайности, близких к средним, наблюдаются заметные расхождения между наблюдёнными и рассчитанными значениями. Однако средняя разность между эмпирическими и рассчитанными по составленному уравнению регрессии значениями числа рекрутов составляет всего 21 %. Следовательно, данное уравнение можно рекомендовать в качестве объективной прогностической модели.



Рис. 3.10. Сравнение рассчитанных по уравнению регрессии (предиктор – температура воды в придонном горизонте Готландской впадины) и наблюдённых значений численности молодого поколения восточно-балтийской трески.

4. Представляется также возможным, в силу достаточно высокой тесноты связи, произвести расчет уравнения регрессии между численностью рекрутов трески и разностью уровней моря между постами Смоген – Гедсер. Следует учесть, что уровень моря принадлежит к числу характеристик, измерение которых не представляет особой сложности и осуществляется с большой точностью. Уравнение регрессии между количеством рекрутов восточно-балтийской популяции трески и средней за осенний период разностью уровней моря между постами Смоген и Гедсер с заблаговременностью в один год имеет вид:

$$\text{ЧРекр.} = 1,335 \Delta H + 176,75$$

Коэффициент корреляции между наблюдёнными и рассчитанными по составленному уравнению регрессии значениями  $r = 0,612$  ( $r^2 = 0,37$ ). Таким образом, данное уравнение описывает более одной трети исходной дисперсии динамики численности рекрутов. Сопоставление и рассчитанных и наблюдённых значений показывает, что данное уравнение хорошо отражает значения урожайности трески, близкие к средним.

Итак, осуществленный регрессионный анализ в целом продемонстрировал следующее. Наибольшая степень точности аппроксимации эмпирических данных динамики численности молоди восточно-балтийской трески свойственна для уравнений регрессии, где в качестве предикторов использовались значения солености и температуры воды на нерестилищах. Уравнение регрессии между числом рекрутов и температурой воды в придонном горизонте Готландской впадины можно рекомендовать для прогнозирования экстремально низких и экстремально высоких значений урожайности трески. Следует заметить, что для рыбохозяйственной отрасли важен прогноз именно экстремальных значений урожайности промысловых пород рыб, так как он позволяет обоснованно подходить к планированию и рационально устанавливать нормы вылова, а также производить расчет возможной экономической выгоды. Уравнениям регрессии, где в качестве предикторов были использованы концентрация растворенного кислорода и разность уровней на постах Смоген – Гедсер, свойственна несколько меньшая точность аппроксимации наблюденных значений, тем не менее, эти уравнения можно достаточно успешно использовать для интерполяции и прогнозирования значений урожайности молоди трески, близких к среднему уровню.

5. Произведем теперь расчет множественного уравнения регрессии между численностью молоди восточно-балтийской трески и соленостью, температурой воды, а также содержанием растворённого кислорода в придонном горизонте Готландской впадины. При наличии временного сдвига значений численности молоди трески относительно факторов среды на 1 год, данное уравнение имеет вид:

$$\text{ЧРекр.} = -2706,2 + 82,2 S\% + 199,5 Tw ^\circ C - 22,05 O_2 \%$$

Коэффициент корреляции между наблюдёнными и рассчитанными по составленному уравнению множественной регрессии значениями численности рекрутов трески  $r = 0,71$  ( $r^2 = 0,504$ ). Таким образом, полученное уравнение описывает не менее половины исходной дисперсии динамики численности рекрутов и теснота связи между эмпирическими и рассчитанными значениями в данном случае наибольшая из всех составленных ранее в данной работе уравнений. На рис. 3.11 представлено сопоставление рассчитанных и наблюдённых значений численности рекрутов восточно-балтийской трески.

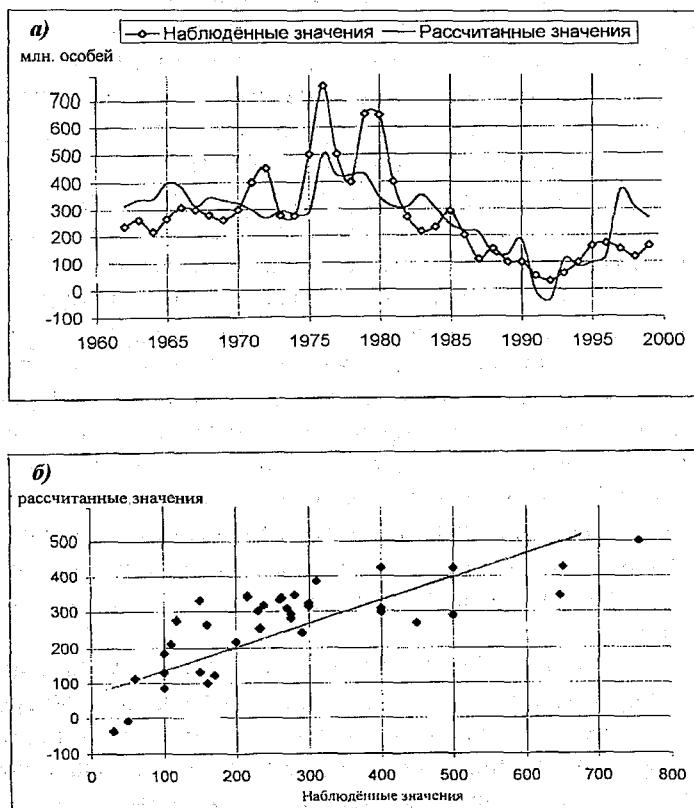


Рис. 3.11. Сравнение рассчитанных по множественному уравнению регрессии и наблюдённых значений численности молодого поколения восточно-балтийской трески (а) и график их (б).

Видно, что составленное уравнение регрессии особенно точно отражает минимальные и средние значения урожайности молодых поколений трески. Средняя разность между наблюдёнными и рассчитанными значениями составляет всего 19 %, т.е. данная модель наилучшим образом из всех описанных выше отражает влияние факторов среды на урожайность трески на нерестилище в районе Готландской впадины. В связи с этим именно данное уравнение регрессии можно рекомендовать как наиболее точную модель для целей прогноза урожайности трески.

В целом основываясь на полученных результатах, можно говорить о том, что формирование наиболее высокоурожайных поколений трески в условиях Балтийского моря становится возможным при благоприятном сочетании оптимальных значений солености, концентрации растворенного кислорода и температуры воды на нерестилищах. Причем роль последнего фактора, по-видимому, весьма значительна и заключается в следующем. Среди анализируемых экологических факторов, и в особенности концентрации растворенного кислорода, как было показано в соответствующих разделах настоящей работы, свойственны значительные межгодовые колебания. В периоды низкой интенсивности адвекции североморских вод в Балтику, значения этих океанологических характеристик могут снижаться до уровня, несовместимого с условиями, необходимыми для нормального развития эмбрионов трески. Определяющая роль этих факторов доказана экспериментально, подтверждена анализом эмпирических данных и не вызывает сомнения. Значения температуры воды на нерестилищах также демонстрируют соответствующие колебания, однако не принимают экстремально низких значений, которые могли бы, предположительно, существенно снизить выживаемость эмбрионов. Так, за период наблюдений с 1947 по 1991 г. средняя годовая температура воды в Готландской впадине на горизонте 230 м никогда не снижалась ниже 5,1 °C составляя в среднем 5,5 °C. Немного более низкие значения температуры (от 5 до 4,5 °C) имели место в период с 1992 по 1996 г. Экспериментально установлена прямая зависимость от температуры воды скорости перехода предличинок на внешнее питание и дальнейшего темпа их роста. Таким образом, солёность и концентрация кислорода определяют степень выживания икры трески, а от температуры воды в придонных и в приповерхностных водах зависит интенсивность питания и роста молодого поколения.

Существуют ли факторы, способные оказывать значительное влияние на численность взрослой балтийской трески? Согласно литературным данным, особи восточно-балтийской и западно-балтийской трески в возрасте от 2 – 3 лет и старше, нагуливаются в прибрежной зоне моря на различных глубинах, встречаются в опреснённых заливах. Взрослая треска обладает значительной эвригалинностью, и соленость воды как определяющий фактор для неё во многом теряет значение. Правомерно выдвинуть гипотезу о соответствующей роли речного стока, способствующего поступлению биогенных веществ в море, и, как следствие, росту продукции планктонных организмов и увеличению численности планктоядных рыб, составляющих основу рациона взрослой трески. Увеличение пищевых ресурсов должно положительно сказываться на биологических показателях нерестового стада трески, приводить к некоторому снижению естественной смертности в популяции. Действительно, возрастание суммарного речного стока в Балтийское море достаточно тесно согласуется с увеличением биомассы нерестового стада восточно-балтийской трески. При наличии временного сдвига относительно стока на 2 года, соответствующий коэффициент корреляции  $r = 0,501$ ,  $P = 99\%$ . Численность рекрутов восточно-балтийской трески также возрастает, однако значимый коэффициент корреляции определён при временном сдвиге относительно значений стока на 6 лет ( $r = 0,431$ , при 95-ном % уровне обеспеченности). Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Возрастание объема речного стока приводит к увеличению поступления биогенных веществ в море и к соответствующему росту биопродуктивности на первом и втором трофических уровнях. Развитие планктона, в свою очередь должно сопровождаться ростом численности планктоядных рыб, таких как сельдь и шпрот. Балтийский шпрот (*Sprattus sprattus balticus. Schneider*) составляет основу пищевого рациона взрослой трески [10,49,55]. Следовательно, биологические показатели нерестового стада, такие как численность, размер и масса особей, также должны возрастать. Кроме того, хорошая накормленность производителей перед нерестом, по-видимому, должна благоприятно сказываться на качестве половых продуктов и в определённой мере положительно влиять на выживаемость икры и численность молодого поколения. Возможно, именно поэтому значимая связь между объемом речного стока и численностью рекрутов проявляется со значительным запаздываением.

Следует также заметить, что в работе [55] было показано, что на Атлантическом побережье Канады, сток реки Святого Лаврентия формирует первичную продукцию эстуария и определяет продукцию зоопланктона в одноимённом заливе, т.е. кормовую базу личинок местной популяции трески. При этом была установлена достаточно тесная корреляционная связь между параметрами речного стока и численностью рекрутов трески. Подобная ситуация должна складываться и в Балтийском море. Однако здесь, по-видимому, речной сток оказывает большее влияние на взрослых производителей, чем на молодь трески (значимый коэффициент корреляции между численностью рекрутов и суммарным речным стоком получен только при значительном временном сдвиге относительно значений стока на 6 лет). Можно предположить, что в условиях Балтийского моря, учитывая его мелководность и значительный объем поступающих речных вод, а также хорошую прогреваемость поверхностных водных масс в летний период, формируется достаточное количество планктона, необходимого для нормального развития молоди трески, даже при объёме речного стока, близкого к норме. Рост численности рекрутов, т.е. урожайности поколения, проявляющийся с большой задлговременностью относительно значений суммарного стока, является следствием увеличения биологических показателей, в том числе накормленности, производителей.

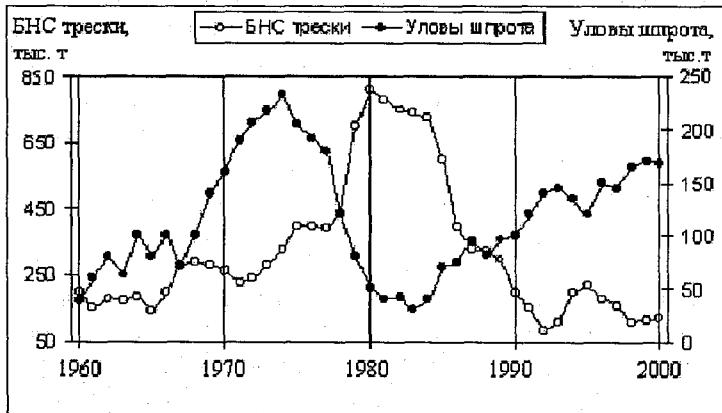


Рис. 3.12. Сравнение многолетней динамики значений биомассы нерестового стада (БНС) восточно-балтийской популяции трески с уловами шпрота в центральной части Балтийского моря.

На рис. 3.12 показано сравнение значений биомассы нерестового стада (БНС) восточно-балтийской трески с суммарными уловами шпрота в Центральной Балтике. Мы видим, что возрастание биомассы нерестового стада трески с 440 тыс. т в 1978 г. до 810 тыс. т в 1980 г. наблюдалось после резкого увеличения (почти в 4 раза) уловов шпрота в середине 1970-х годов. Затем, на фоне обилия полновозрелой трески, численность шпрота начала столь же резко снижаться, и достигла минимальных значений в период с 1981 по 1984 г. Во второй половине 1980-х годов, стали уменьшаться параметры биомассы нерестового стада трески, а численность шпрота начала постепенно возрастать. Только к началу второй половины 1990-х годов, на фоне некоторого возрастания биомассы нерестового стада трески, уловы шпрота начали снижаться. Таким образом, здесь достаточно отчетливо проявляется межвидовое взаимодействие популяций рыб по типу "хищник – жертва", результатом которого являются соответствующие автоколебания ихз численности. Коэффициент корреляции между динамикой уловов шпрота и БНС трески  $r = -0,658$  при  $P = 99\%$ . Это свидетельствует о том, что динамика стада взрослой балтийской трески во многом зависит от урожайности поколений шпрота.

Итак, фактор обеспеченности пищей оказывает значительное влияние на параметры нерестового стада балтийской трески. В свою очередь, от интенсивности питания производителей в преднерестовый период зависит эффективность генеративных процессов, качество половых продуктов и урожайность новых поколений.

Достаточно высокая теснота корреляционной связи между биомассой нерестового стада (БНС) балтийской трески и уловами шпрота позволяет произвести расчёт соответствующего уравнения регрессии. Данное уравнение имеет следующий вид:

$$\text{БНС трески} = 668,32 - 2,37 \times \text{Уловы шпрота.}$$

Коэффициент корреляции между наблюдёнными и рассчитанными значениями по составленному уравнению регрессии значениями биомассы нерестового стада балтийской трески  $r = 0,641$  ( $r^2 = 0,42$ ). Следовательно, данное уравнение описывает более одной трети исходной дисперсии динамики биомассы нерестового стада. Сопоставление рассчитанных и наблюдённых значений демонстрирует, что данное уравнение регрессии достаточно точно отражает

средние и близкие к максимальным значения биомассы нерестового стада трески. Тенденции изменчивости рассчитанных и наблюденных величин весьма сходны на всём интервале значений. Средняя разность между наблюдёнными и рассчитанными по уравнению регрессии величинами, без учета двух последних значений, составляет 28 %.

Подведём некоторые итоги. Выживаемость икры балтийской трески определяется соленостью и концентрацией кислорода в промежуточном горизонте (100 м) на нерестилище в Готландской впадине. В Гданьской впадине также наблюдается наличие статистически значимой, но менее тесной связи между содержанием кислорода и выживаемостью икры трески. В Борнхольмской впадине, по-видимому, ведущим фактором является солёность. На этапе эмбрионального развития роль этих экологических факторов является определяющей. Интенсивность питания личинок, их дальнейший рост во многом зависят от температуры воды. Обеспеченность личинок пищей является значимым, но не определяющим фактором в условиях Балтийского моря. Высокоурожайные поколения молоди восточно-балтийской трески возникают при благоприятном сочетании всех трёх выше названных абиотических факторов, а также при условии высокой накормленности производителей в преднерестовый период. Динамика численности стада взрослой трески зависит от урожайности поколений шпрота. Урожайность шпрота во многом определяется динамикой речного стока. Высокоурожайное поколение старших рекрутов способно резко сократить численность шпрота и привести к существенному сокращению пищевых ресурсов, поэтому в дальнейшем можно ожидать снижения численности нерестового стада трески. Значимой связи между БНС восточно-балтийской трески и абиотическими факторами среды не наблюдается во многом потому, что на более поздних этапах развития особей большую роль начинают играть межвидовые отношения. Между значениями биомассы нерестового стада и численностью молодого поколения тесная связь отсутствует. Величины уловов восточно-балтийской трески, как уже отмечалось ранее, находятся в очень тесной связи со значениями биомассы нерестового стада ( $r = 0,91$ ). Поэтому динамика уловов во многом будет зависеть от изменчивости БНС.

Оценим далее степень и характер влияния факторов среды на динамику биомасс нерестовых стад и уловов западно-балтийской

трески в водах Германии и Дании. В табл. 3.2 представлены коэффициенты корреляции между значениями БНС, уловами западно-балтийской трески и абиотическими факторами среды в крупнейших впадинах Балтийского моря. Горизонты глубин и тип фактора в каждом районе избирались в соответствии с результатами анализа влияния факторов среды на молодь западно-балтийской трески, представленными в табл. 3.1. Так как между численностью молодых особей и половозрелых поколений западно-балтийской трески, в отличие от восточно-балтийской, существует весьма тесная связь ( $r > 0,8$ ), то логично проанализировать влияние на БНС и уловы, прежде всего, тех предикторов, которые оказывали значимое влияние на динамику численности молоди.

Таблица 3.2

**Коэффициенты корреляции между биомассами нерестовых стад и уловами трески в водах Германии и Дании и абиотическими факторами среды**

Абиотические факторы	Временной сдвиг относительно факторов среды, гг.	Биомасса нерестового стада		Уловы	
		Германия	Дания	Германия	Дания
Соленость в Готландской впадине, 240 м	1	0,661**	0,682**	0,663**	0,641**
	2	0,751**	0,762**	0,724**	0,722**
	3	0,693**	0,714**	0,684**	0,673**
Кислород в Готландской впадине, 240 м	1	0,501**	0,741**	0,473*	0,625**
	2	0,364**	0,545**	0,325	0,355
	3	0,183	0,368	0,161	0,171
Температура в Готландской впадине, 230 м	1	0,351	0,384	0,431*	0,367
	2	0,538**	0,354	0,522*	0,492*
	3	0,488*	0,571**	0,462*	0,454*
Солёность в Готландской впадине, 100 м	1	0,276	0,223	0,254	0,212
	2	0,021	0,517**	0,161	0,424*
	3	0,123	0,312	0,184	0,198
Температура в Гданьской впадине, 100 м	1	0,031	0,348	0,094	0,301
	2	0,213	0,476*	0,231	0,416*
	3	0,221	0,448*	0,196	0,352
Соленость в Борнхольмской впадине, 80 м	1	0,054	-0,264	-0,036	-0,186
	2	-0,258	-0,273	-0,214	-0,226
	3	-0,201	-0,123	-0,152	-0,081

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком ‘\*\*\*’, соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком ‘\*’ – 95 %-ному уровню обеспеченности.

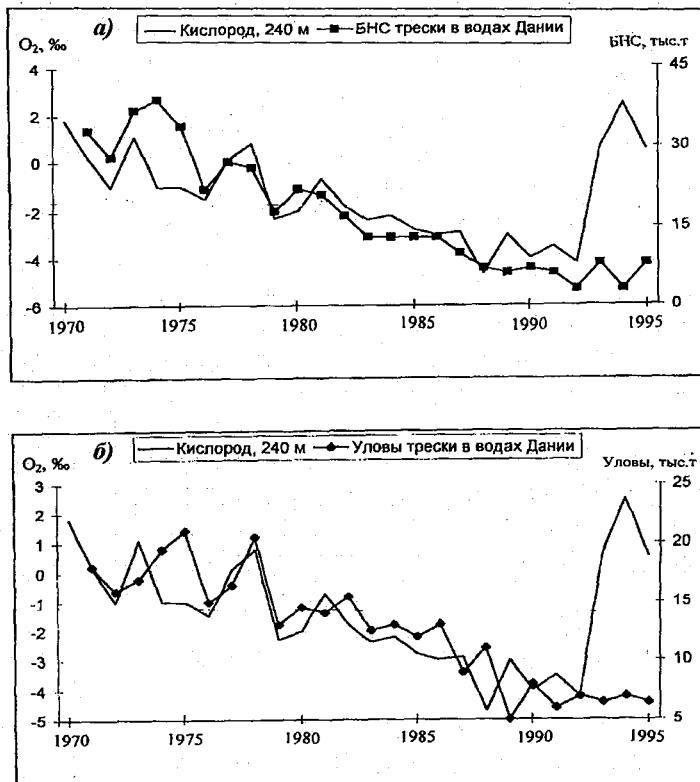


Рис. 3.13. Сравнение динамики концентрации кислорода в придонном горизонте Готландской впадины с изменчивостью величин биомассы нерестового стада трески в водах Дании (а) и с уловами трески в водах Германии (б).

Из табл. 3.2 видно, что биомассы нерестовых стад и уловы демонстрируют наибольшую тесноту связи с динамикой океанологических факторов среди в придонном горизонте Готландской впадины. С соленостью на глубине 240 м наиболее тесная связь проявляется при наличии временного сдвига показателей урожайности половозрелых поколений на 2 года. На рис. 3.13 представлено соотношение между динамикой БНС и уловов трески в водах Дании и содержанием растворенного кислорода в придонном горизонте Готландской впадины (соответственно,  $r = 0,741$  и  $r = 0,625$  при  $P = 99\%$ ). Из данного рисунка хорошо заметно, что снижение до минимальных значений биомассы нерестового стада и уловов трески в начале 1990-х

годов наблюдалось на фоне экстремально низких значений концентрации кислорода в придонном горизонте. С температурой воды в Готландской впадине показатели урожайности половозрелой западно-балтийской трески демонстрируют значимую, но менее тесную связь, чем с солёностью и содержанием кислорода. Наибольший коэффициент корреляции получен между температурой воды в Готландской впадине на глубине 230 м и биомассой нерестового стада в водах Дании, при временном сдвиге БНС относительно температуры на 3 года ( $r = 0,571$ ). С солёностью в придонном горизонте Гданьской впадины, значимая связь отмечается только с БНС трески и уловами в водах Дании при временном сдвиге параметров урожайности относительно температуры на 2 года (соответственно,  $r = 0,517$  и  $r = 0,424$  при  $P = 95\%$ ). С температурой воды в придонном горизонте Гданьской впадины значимые при  $P = 95\%$  коэффициенты корреляции также получены исключительно с величинами биомасс нерестовых стад. Не обнаружено значимой связи между параметрами урожайности взрослой западно-балтийской трески и динамикой солёности в придонном горизонте Борнхольмской впадины, что было характерно также и для численности молоди трески (см. табл. 3.1). В целом, выполненный анализ показал, что численность старших возрастных групп трески в южной части Балтийского моря зависит прежде всего от динамики солености и концентрации кислорода в придонных горизонтах моря. Однако, по-видимому, полученные коэффициенты корреляции отражают действие факторов среды в основном на младшие возрастные группы, динамика численности которых находится в тесной зависимости с динамикой старших возрастных групп, так как известно, что взрослые особи трески обычно демонстрируют значительную толерантность к воздействию океанологических факторов. Тем не менее можно предположить, что в периоды возрастаания солёности и концентрации кислорода на нерестилищах в Южной Балтике, учитывая относительную небольшую их площадь, возникают предпосылки для формирования более многочисленных нерестовых стад западно-балтийской трески, что в свою очередь должно приводить к возрастанию уловов. В Центральной Балтике, в периоды осолонения и аэрации, уловы могут снижаться, так как на этом фоне резко возрастает площадь пригодных для успешного нереста районов и проходит рассредоточение нерестящихся групп.

Таблица 3.3.

Коэффициенты корреляции между показателями урожайности балтийских камбалообразных рыб и абиотическими факторами среды, а также обобщенным индексом атмосферной циркуляции  $NAO_{об}$ .

Абиотические факторы	Временной сдвиг относительно факторов среды, гг.	Численность молоди		Биомасса нерестового стада	
		Речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах	Лиманы в водах Дании	Лиманы в водах Дании	Речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах
Индекс $NAO_{об}$ .	0	-0,268	0,161	-0,352	-0,195
	1	-0,063	0,158	-0,162	-0,303
	2	-0,332	0,068	-0,261	0,471
Соленость в Готландской впадине, 240 м	0	0,148	0,331	0,651**	0,613**
	1	0,231	0,281	0,662**	0,611**
	2	0,362	-0,091	0,687**	0,795**
Соленость в Готландской впадине, 100 м	0	0,423*	0,107	0,278	0,242
	1	0,531**	0,148	0,432*	0,341**
	2	0,236	-0,114	0,511**	0,442*
Кислород в Готландской впадине, 240 м	0	0,423*	0,107	0,231	0,242
	1	0,531**	0,148	0,335	0,335
	2	0,236	-0,114	0,415*	0,468*
Кислород в Готландской впадине, 90 м	0	-0,247	-0,284	0,231	-0,264
	1	-0,336	-0,076	0,305	0,031
	2	-0,361	0,442*	0,427*	0,114
Температура в Готландской впадине, 230 м	0	-0,147	0,306	0,376	0,471*
	1	-0,145	0,351	0,502**	0,623**
	2	-0,166	0,452*	0,621**	0,785**
Температура в Готландской впадине, 100 м	0	0,428*	-0,323	-0,202	0,248
	1	0,628**	-0,136	-0,257	-0,182
	2	0,572**	-0,106	-0,206	-0,093
Соленость в Гданьской впадине, 100 м	0	0,152	0,053	0,206	0,231
	1	0,233	-0,087	0,228	0,218
	2	0,127	-0,061	0,176	-0,161
Кислород в Гданьской впадине, 100 м	0	-0,252	-0,175	-0,146	-0,162
	1	0,055	-0,161	-0,227	-0,143
	2	0,045	-0,267	-0,324	-0,306
Температура в Гданьской впадине, 100 м	0	-0,106	0,115	0,151	0,122
	1	0,018	0,207	-0,012	0,184
	2	0,051	0,213	0,011	0,102
Соленость в Борнхольмской впадине, 80 м	0	0,114	0,151	-0,018	0,136
	1	-0,052	-0,007	-0,174	0,219
	2	0,063	0,008	-0,251	0,082

Примечание. Коэффициенты корреляции, выделенные знаком “\*”, соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком “\*\*” – 95 %-ному уровню обеспеченности.

Таблица 3.4.

**Коэффициенты корреляции между значениями уловов балтийских камбалообразных рыб и абиотическими факторами среды, а также разностями уровней моря между южной частью Датских проливов и северной частью пр. Каттегат**

Абиотические факторы	Времен-ной сдвиг относи-тельно факторов среды, гг.	Уловы			
		Речная камбала, цен-траль-ная часть моря	Речная камбала, Аркон-ский и Борн-хольм-ский районы	Речная камбала, бухта Кеге	Морская камбала, пр. Кат-тегат
Соленость в Готландской впадине, 240 м	2	0,394	-0,027	0,344	0,668**
	3	0,505**	-0,0905	0,478*	0,701**
	4	0,512**	-0,243	0,462*	0,714**
Кислород в Готландской впадине, 240 м	2	0,526**	-0,306	0,361	0,313
	3	0,701**	-0,351	0,552**	0,271
	4	0,576	-0,214	0,613**	0,433*
Температура в Готландской впадине, 230 м	2	0,041	-0,071	-0,096	0,508*
	3	0,043	0,152	0,012	0,554**
	4	0,081	0,032	0,055	0,203
Солёность в Готландской впадине, 100 м	2	0,285	-0,326	0,085	0,197
	3	0,431*	-0,180	0,184	0,143
	4	0,273	-0,345	0,136	0,032
Температура в Гданьской впадине, 100 м	2	0,037	0,251	-0,091	0,177
	3	0,045	-0,036	-0,183	0,186
	4	0,275	0,346	-0,095	0,338
Соленость в Борнхольмской впадине, 80 м	2	-0,384	-0,172	-0,266	-0,366
	3	-0,331	-0,121	-0,213	-0,307
	4	-0,353	0,021	-0,282	-0,385
Разность уровней на постах Смоген и Гедсер	2	0,336	-0,221	0,331	0,471*
	3	0,421*	-0,017	0,431*	0,578**
	4	0,452*	-0,345	0,468*	0,641**
Разность уровней на постах Смоген и Кобенхавн	2	0,168	-0,165	0,427*	0,344
	3	0,432*	-0,015	0,613**	0,415*
	4	0,473*	-0,371	0,236	0,475*

*Примечание.* Коэффициенты корреляции, выделенные знаком “\*\*”, соответствуют 99 %-ному уровню обеспеченности, знаком “\*” – 95 %-ному уровню обеспеченности.

Представляет значительный интерес тот факт, что динамика океанологических факторов в Готландской впадине во многом соответствует изменчивости показателей урожайности трески, как в

центральных, так и в южных районах Балтики. При этом, если для восточно-балтийской трески наличие такой связи вполне естественно, то для западно-балтийской популяции тесная связь с факторами среды в данном районе должна быть маловероятна. Тем не менее такая связь существует, и она не является исключительно причинно-следственной. Изменчивость гидрохимического и океанологического режимов в крупнейшей Готландской впадине достаточно точно отражает динамику крупномасштабных процессов взаимодействия атлантических водных масс с балтийскими. Следовательно, значения факторов среды в Готландской впадине возможно использовать в качестве обобщённого показателя экологического и промыслового-гидробиологического режимов, свойственных для большей части акватории Балтийского моря в целом.

Проанализируем далее степень воздействия различных факторов и характеристик среды на параметры урожайности и уловы основных видов балтийских камбалообразных рыб. Результаты расчетов представлены в таблицах 3.3 и 3.4.

Как видно из табл. 3.3, между обобщенным индексом Северо-Атлантического колебания и динамикой численности молоди речной камбалы, молоди камбалы-лиманды и биомассой нерестового стада лиманды в водах Дании значимая связь не обнаружена. Но наблюдается наличие значимой связи отрицательного характера между индексом NAOоб и биомассой нерестового стада речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах при наличии временного сдвига относительно обобщенного индекса на 2 и 3 года (соответственно,  $r = -0,471$  при  $P = 95\%$  и  $r = -0,601$  при  $P = 99\%$ ). Возможно, в данном случае проявляется связь не с NAO непосредственно, а с солёностью воды, значения которой уменьшаются на фоне роста интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, т.е. имеет место связь сопряжённости.

Величины биомасс нерестовых стад лиманды в водах Дании и речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах имеют тенденцию к увеличению при возрастании солёности в придонном горизонте Готландской впадины. Максимальные коэффициенты корреляции получены при наличии временного сдвига БНС относительно солёности воды на 2 года (соответственно,  $r = 0,687$  и  $r = 0,795$  при  $P = 99\%$ ). Однако, численность молоди речной камбалы и камбалы лиманды в рассматриваемых районах, демонстрирует

значимую связь с солёностью только в промежуточном горизонте Готландской впадины. Со значениями концентрации кислорода в придонном горизонте Готландской впадины наибольшая теснота связи характерна для численности молоди речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах. Наибольший коэффициент корреляции получен в данном случае при наличии временного сдвига относительно содержания кислорода на 1 год ( $r = 0,531$  при  $P = 99\%$ ). Динамика значений биомасс нерестовых стад камбалообразных находится в меньшей, но значимой связи с данным фактором.

Изменчивость температуры воды в Готландской впадине на глубине 230 м находится в более тесной связи с динамикой биомасс нерестовых стад и речной камбалы, чем с численностью молодых поколений донных рыб. При этом численность молоди речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах показывает довольно тесную связь с изменчивостью температуры воды в промежуточном горизонте Готландской впадины на глубине 100 м ( $r = 0,628$  при  $P = 99\%$ , временной сдвиг относительно температуры воды составил 1 год).

Между соленостью и концентрацией кислорода в придонном горизонте Гданьской впадины и параметрами урожайности камбалообразных рыб значимая связь отсутствует. Однако, биомасса нерестового стада речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах демонстрирует наличие довольно тесной связи с температурой воды в Гданьской впадине на глубине 100 м. Наибольший коэффициент корреляции ( $r = 0,545$ ,  $P = 99\%$ ) получен в данном случае при наличии временного сдвига относительно температуры на 2 года. Значимая связь между динамикой океанологических условий в Борнхольмской впадине и показателями камбалообразных отсутствует. Аналогичная картина была свойственна и для молоди трески.

Таким образом, численность молоди камбалообразных рыб находится в наибольшей зависимости от влияния факторов среды в промежуточных горизонтах моря, а численность половозрелых особей во многом зависит от океанологических факторов в придонных горизонтах. Возможно, это связано с тем, что для камбалообразных одним из критических периодов онтогенеза является период прохождения стадии метаморфоза, который протекает именно в промежуточных слоях. При этом переход к типично придонному образу жизни происходит не сразу, а постепенно. Взрослые камбалообразные в возрасте от 2+ и более лет ведут в основном придонный об-

раз жизни, питаясь преимущественно моллюсками и зависимость величин их биомасс нерестовых стад от динамики значений факторов среды в придонных горизонтах вполне понятна. Значительная теснота связи с температурой воды вблизи дна может говорить также о значительном воздействии на параметры нерестовых стад периода зимовки.

Как видно из табл. 3.4, величины уловов камбалообразных демонстрируют наиболее значительную тесноту связи с соленостью и концентрацией кислорода в придонном горизонте Готландской впадины. Однако для уловов речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах значимая связь с факторами среды отсутствует, в связи с чем можно предположить, что в данных районах величины уловов и соответствующего промыслового запаса зависят преимущественно от интенсивности промысла. Выше было отмечено, что разности уровней моря между южной частью Датских проливов и северной частью пр. Каттегат возможно использовать в качестве индикатора поступления североморских вод, которые способствуют улучшению гидрохимической обстановки на нерестилищах донных рыб. Наличие значимых и достаточно тесных корреляционных связей между величинами разностей уровней моря в среднем за осенний период и уловами рыб подтверждает объективность установленных соотношений.

### 3.2. Урожайность донных рыб и антропогенный пресс

Выше была проанализирована роль различных экологических факторов естественной природы, оказывающих влияние на урожайность молодых поколений, динамику нерестовых стад и уловов балтийской трески и камбалообразных рыб. В настоящем разделе рассмотрим значение антропогенного фактора, который выражается в изъятии части популяции рыб промыслом и загрязнении их среды обитания.

Основываясь на литературных данных, можно прийти к выводу о том, что антропогенное изъятие части популяций рыб промыслом, стало заметным фактором влияния на параметры стад балтийской трески и камбалообразных, начиная примерно с середины 1930-х гг. Именно в это время появились более эффективные орудия промысла, и возникла тенденция к существенному возрастанию величин

уловов. Тем не менее, в период с 1935 по вторую половину 1950-х гг., величина совокупного вылова трески, по-видимому, не превышала 100 тыс. т. в год, т.е. составляла около 20 % от среднего нерестового запаса в период со второй половины 1960-х по начало 1990-х гг.

Как уже было установлено ранее, между значениями биомасс нерестовых стад и величинами уловов трески и камбалообразных за период с 1966 по 1992 год, наблюдается весьма тесная связь, приближающаяся к функциональной (соответствующие коэффициенты корреляции имеют значения от 0,85 до 0,91). Следовательно, под антропогенным пресс попадают, прежде всего, половозрелые особи, преимущественно в возрасте от 2+ до 4 лет в Южной Балтике и от 4 до 6 лет в Центральной части моря, составляющие основу репродуктивного потенциала популяций. Между численностью молоди балтийской трески и уловами значимая связь отсутствует, что позволяет говорить о том, что влияние вылова на урожайность трески в недавнем прошлом не являлась абсолютно определяющим.

На рисунках 2.9, 2.11 и 2.13 приведено сравнение значений биомасс нерестовых стад балтийской трески с величиной промыслового изъятия. Коэффициенты корреляции между данными параметрами  $r > -0,5$  при 99 %-ном уровне обеспеченности. Мы видим, что увеличение параметров нерестовых стад, составляющих основу промысловых запасов, сопровождается снижением относительной доли изъятия промыслом. В периоды же снижения значений биомассы нерестового стада, процент антропогенного изъятия промыслом резко возрастает. На основе имеющихся в распоряжении данных, наибольшее воздействие на крупнейшую восточно-балтийскую популяцию трески промысел оказывал в 1966 г. (70 % изъятия нерестового запаса) и в 1991 г. (83,5 %), а наименьшее – в 1978 и 1979 гг. (около 34 %). Следует заметить, что, согласно научно-обоснованным и принятым в рыболовственной практике нормам, относительная величина общего допустимого улова (ОДУ) для рыб, имеющих длительный жизненный цикл и созревающих на 4–5-м году жизни, не должна превышать от 30 до 35 % их нерестового запаса популяции. К таковым промысловым породам принадлежит балтийская треска, морская камбала, камбала-лимандра и камбала-турбо.

Формирование высокоурожайных поколений молоди восточно-балтийской трески в 1977–1978, 1980–1981 гг. способствовало с

заблаговременностью от 2 до 3 лет существенному пополнению нерестового (промыслового) запаса трески до уровня от 700 до 810 тыс. т в период с 1979 по 1984 г. Это привело к значительному возрастанию ежегодных уловов со 160 – 200 тыс. т в 1974 – 1978 гг. до уровня от 300 до 400 тыс. т в период с 1980 по 1984 г. При этом доля антропогенного изъятия составляла от 41,5 до 55 %, т.е. незначительно превышала теоретический допустимый уровень. Поколения молодой трески, появившиеся во второй половине 1980-х годов, не смогли, по причине своей весьма малой численности, привести к значительному пополнению нерестового стада. В результате нерестовый запас в 1990 г. резко сократился до уровня 200 тыс. т., а в 1992 г. достиг минимального за весь анализируемый период значения в 80 тыс. т. По сравнению с серединой 1980-х годов, нерестовый запас сократился почти в 10 раз, а уловы только в 5 раз. Поэтому не удивительно, что в начале 1990-х годов, доля антропогенного изъятия составляла уже 83,5 %, т.е. превысила теоретически допустимую норму в 2,5 раза.

Итак, необходимо признать, что в недалёком прошлом основным фактором, оказывающим определяющее влияние на параметры нерестового стада наиболее многочисленной и экономически ценной популяции восточно-балтийской трески, являлся антропогенный пресс. В 1995 – 1998 гг., в связи с вводом ограничений на промысел трески, роль антропогенного изъятия несколько уменьшилась. Но и эти меры не смогли привести к быстрому восстановлению промыслового стада трески в Центральной Балтике. Квоты на ее вылов вплоть до 2007 г. имеют тенденцию к своему уменьшению. Отсутствие тесной связи между числом рекрутов трески и её уловами в центральной части Балтийского моря моря и в водах Германии свидетельствует о том, что урожайность балтийской трески зависит прежде всего от степени выживаемости ее икры на нерестилищах, которая определяется соответствующими океанологическими условиями и в меньшей степени зависит от численности производителей. Так, в середине 1980-х гг., величина антропогенного изъятия лишь незначительно превышала теоретически допустимый уровень, и численность производителей оставалась достаточно высокой. Тем не менее уже со второй половины 1980-х годов, появилась выраженная тенденция к снижению общего и промыслового запаса восточно-балтийской трески, а в начале 1990-х годов уловы

достигли столь минимального уровня, который наблюдался ранее только в начале XX в.

Савнительный анализ интенсивности эксплуатации популяций балтийской трески позволяет говорить, что наибольших величин антропогенное изъятие достигает в водах Германии. Как видно из рис. 2.15, в наиболее драматический для воспроизводства трески период в начале 1990-х годов, значения промысловой смертности здесь достигли рекордно высоких значений ( $FM > 1,7$ ). В водах Дании (рис. 2.17) в этот время промысловая смертность также резко возросла, но не превысила значения 1,5, а в центральной части моря (рис. 2.13) промысловая смертность в начале 1990-х годов не пре-восходила значений 1,4. Однако, конечно, относительно более низкое значение FM свойственное для восточно-балтийской популяции не даёт оснований полагать, что роль промыслового изъятия здесь менее существенна. Нельзя забывать, что на долю восточно-балтийской популяции приходится от 60 до 80 % от общей биомассы трески Балтийского моря. При этом даже относительно не-высокое возрастание промысловой смертности популяции до уров-ня от 1,1 до 1,35, которое имело место в период с конца 1980-х по начало 1990-х годов, в абсолютном своём значении выразилось в резком сокращении репродуктивного потенциала трески как вида в морской экосистеме.

Воздействие промысла на большинство популяций камбалооб-разных рыб Балтики, исходя из имеющихся в распоряжении дан-ных, носит менее интенсивный характер. Как видно из рис. 2.21, максимальные значения промысловой смертности речной камбалы в Арконском и Борнхольмском районах, которые наблюдались в 1974 и 1989 гг., не превышали 0,65, что в 2 – 2,6 раза меньше максимальных значений FM, свойственных для популяций балтийской трески. Однако отсутствие значимой связи между величинами уловов дан-ной группы и факторами среды (см. табл. 3.4), дает основания гово-рить о том, что и данный уровень промысловой смертности может являться определяющей причиной динамики численности взрослых особей. В целом параметры эксплуатации ресурсов камбалообраз-ных, как относительно малоподвижных рыб, потенциально быстро подвергающихся воздействию промысла, должны устанавливаться в строгом соответствии с учётом степени благоприятности факто-ров и условий среды для их воспроизведения.

Балтийское море и его бассейн расположены, в регионе с разной промышленностью и сельским хозяйством. Балтика по сути, является внутренним мелководным морем Европы. Длительный период полного водообмена с океаном, который по некоторым оценкам, занимает до 27 лет, способствует концентрации загрязняющих веществ. В настоящее время в регионе Балтики и Северного моря реализуется несколько крупных международных природоохранных программ, направленных на снижение поступления загрязняющих веществ в морскую среду. Поступление токсикантов происходит в основном с речным стоком, а также в процессе трансграничного переноса по воздуху. Действуют достаточно эффективные программы по строительству современных очистных сооружений в бассейнах рек Висла, Одер, Даугава. Координацией большинства работ занимаются рабочие группы под эгидой Хельсинской комиссии. Однако некоторые токсиканты, среди которых тяжёлые металлы и пестициды обладающие свойством аккумулироваться в донных осадках, периодически попадают в водную среду. Кроме того, эти вещества способны накапливаться в живых тканях донных, планктонных животных и в рыbach, передаваясь по пищевой цепи. В конечном итоге, вместе с добываемыми биоресурсами они могут принести вред и человеку.

Свинец, наравне с кадмием, ртутью, медью, цинком и железом, принадлежит к группе тяжелых металлов (ТМ) большинство из которых являются опаснейшими токсикантами для живых организмов. Повышенные концентрации ТМ в воде или в почве могут свидетельствовать о крайне неблагоприятной экологической обстановке. Свинец способен включаться в различные клеточные ферменты растений и животных, в результате чего клетки и слагаемые ими ткани постепенно теряют способность выполнять предназначенные им в организме функции. Применительно к человеку высокие концентрации свинца в организме приводят к нарушению работы печени и почек, снижению содержания кальция в организме и деградации костных тканей. Поздними симптомами отравления являются расстройства функций нервной системы и нарушение работы головного мозга. Установлено, что свинец способен усиливать действие канцерогенных соединений, вызывающих рак у животных [44, 66, 72, 74, 83]. Повышенное содержание тяжелых металлов в почве приводит к возрастанию их содержания в растениях, а следователь-

но, в пищевых продуктах и кормах растительного происхождения [74]. Известно, что морские организмы, такие как зоопланктон, планктоноядные рыбы и хищники, способны интенсивно накапливать в себе ТМ. Устрицы осуществляют более чем 500-кратное концентрирование свинца из окружающей воды [72]. Ситуация осложняется тем, что соединения свинца, в отличие от большинства других тяжелых металлов, способны переноситься по воздуху на значительные расстояния. Источниками их поступления в окружающую среду являются продукты сжигания автомобильного топлива, содержащего антидetonатор – тетраэтилсвинец, отходы производств по производству эмалей и пластмасс. ПДК свинца в воде составляет 0,01 мг/л. Кроме тяжелых металлов, потенциально опасными веществами в пределах Балтийского моря являются также захоронения химического оружия во впадинах.

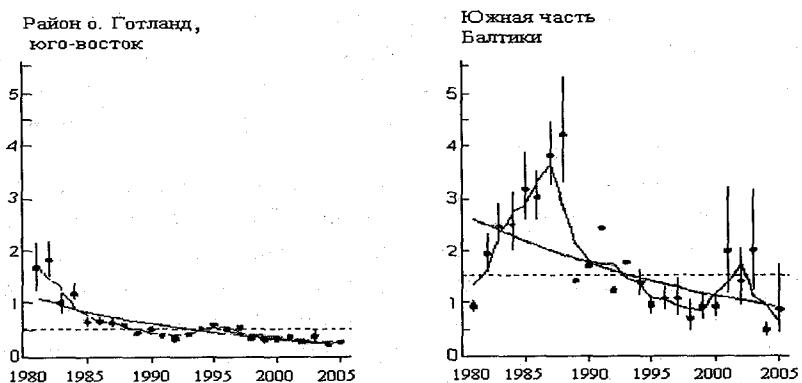


Рис. 3.14. Многолетняя динамика содержания кадмия в тканях живой трески, мг Cd на 1 г сухой массы.

В целом за последнее десятилетие достигнуты серьезные успехи в деле защиты Балтийского моря от загрязнения. Производится постоянный мониторинг содержания токсикантов в воде, грунтах и в тканях организмов, в том числе в промысловых рыбах. На рисунках 3.14 и 3.15 показана медгодовая изменчивость содержания кадмия и свинца в тканях балтийской трески [74, 104]. Как видно из представленных данных, наблюдается снижение концентраций этих

веществ в тканях трески. Результаты получены при исследовании около 400 экземпляров трески в возрасте от 2 до 4 лет ежегодно в районе к юго-востоку от о. Готланд и в Южной Балтике, в территориальных водах Дании и Германии. Аналогичные тенденции свойственны и для содержания тяжёлых металлов в тканях основных объектов питания взрослой трески – широта и сельди [74].

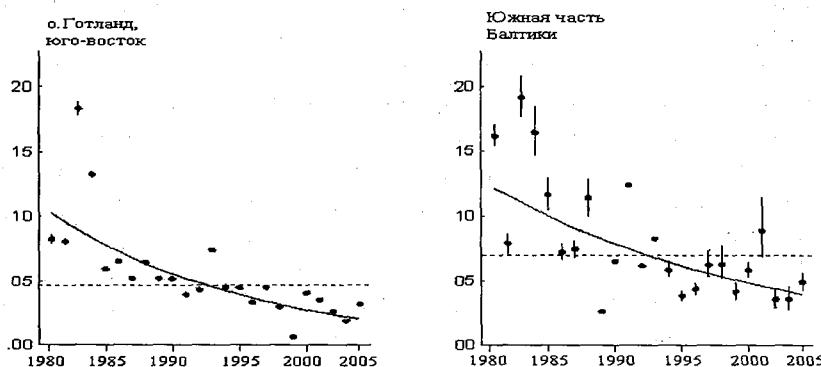


Рис. 3.15. Многолетняя динамика содержания свинца в тканях живой трески, мг Pb на 1 г сухой массы.

Таким образом, обобщая все имеющиеся в распоряжении сведения, можно признать, что в настоящее время на численность взрослой трески оказывает влияние прежде всего, антропогенное изъятие промыслом. Отсутствие значимой связи между числом рекретов и уловами свидетельствует о том, что урожайность балтийской трески зависит, прежде всего, от степени выживаемости ее икры на нерестилищах. Нет оснований полагать, что загрязнение среды Балтийского моря, которое действительно имеет место, способно оказывать определяющее влияние на численность популяций трески и других донных рыб. Однако достаточно высокие значения тяжелых металлов и других токсикантов, обнаруженных в тканях донных промысловых рыб в некоторых районах, могут несколько снизить их пищевую ценность. Пелагическая икра рыб является особенно чувствительной к воздействию токсикантов. Поэтому требуется регулярно производить мониторинг их содержания в эмбрионах и личинках рыб, оценивая характер негативного воздействия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Завершено рассмотрение и выполнен анализ многолетней изменчивости климатических, океанологических и гидрологических характеристик в связи с динамикой урожайности и уловов важнейших промысловых объектов в водах северо-запада Европы – донных рыб Балтийского моря. Установлены степень и характер зависимости урожайности и уловов донных рыб от процессов и факторов естественной природы и антропогенного пресса. Полученные результаты позволяют сформулировать следующие основные выводы.

1. Обобщение и анализ многолетней изменчивости климатических, океанологических и гидрологических характеристик позволили прийти к выводу о том, что причинами экстремального снижения урожайности и уловов донных рыб в конце 1980-х и в начале 1990-х годов явились крайне неблагоприятные условия для их размножения, обусловленные климатической аномалией над регионом Северной Атлантики, на фоне усиления антропогенного изъятия промыслом. Главные черты логической модели, отражающей специфику взаимосвязей между природными процессами над Северной Атлантикой и в регионе Балтийского моря, выглядят следующим образом. В конце 1980-х годов наблюдалось аномально высокое возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которое сопровождалось значительным увеличением переноса тепла и влаги с океана по направлению к Северной Европе. В связи с этим, согласно установленной тесной связи положительного характера между интенсивностью атмосферной циркуляции и стоком рек Северо-Европейского бассейна, наблюдалось резкое увеличение объема речного стока со Скандинавского полуострова в Балтийское море. В силу циклонического характера циркуляции поверхностных вод, произошло значительное возрастание уровня моря в районе Датских проливов и у побережья Польши. Средние годовые значения уровней моря в районе Датских проливов в 1989 г. достигли экстремально высоких величин, не наблюдавшихся ранее. В 1990 г. средние годовые значения уровней моря здесь также существенно превышали средние многолетние. В результате в 1990 г. уровень Балтийского моря, впервые за весь имеющийся в распоряжении период

наблюдений, превысил уровень в северной части пролива Каттегат. Аналогичная ситуация повторилась и в 1991 г. Возрастание уровня в южной части Датских проливов, учитывая их узость и мелководность, создало препятствие для поступления относительно тёплых, высокосолёных и обогащенных кислородом водных масс из Северного моря в Балтийское. В 1991 г в придонном горизонте Готландской впадины, которая является крупнейшим нерестилищем для донных рыб, были отмечены рекордно низкие значения солёности за весь период инструментальных наблюдений и полное отсутствие растворённого кислорода в придонном горизонте с появлением сероводорода. Значения температуры воды в придонных горизонтах большинства впадин были также ниже средних. Именно эти процессы привели к резкому снижению выживаемости икры трески и падению численности молоди других донных рыб, а также их уловов в 1990-х годах. При этом промысловая эксплуатация ресурсов донных рыб в этот период достигла экстремально высоких величин и осуществлялась без учёта степени благоприятности океанологических условий и факторов среды для воспроизводства рыб на основных нерестилищах.

2. Анализ взаимосвязей между природными процессами в регионе Балтийского моря позволил прийти к выводу о том, что интенсивное и длительное проникновение североморских водных масс в Балтику, способное привести к значительному увеличению солёности и концентрации кислорода на нерестилищах донных рыб, что положительно сказывается на их урожайности, становится возможным только при значениях Северо-Атлантического колебания, близких к средней многолетней норме.
3. Положение изогалины 10 %, т.е. минимально допустимое значение солёности, при котором происходит нормальное развитие икры трески и камбалообразных рыб, может использоваться как своеобразный индикатор толщины водных горизонтов с относительно благоприятными для нереста донных рыб условиями. В период формирования высокоурожайных молодых поколений донных рыб во второй половине 1970-х годов, изогалина 10 % располагалась не глубже 84 м, в период же с 1989 по 1991 г. наблюдалось резкое увеличение глубины ее залегания – до 125 – 136 м. Это свидетельствует о значительном опреснении и сокра-

щении мощности водных горизонтов с благоприятными для размножения донных рыб океанологическими условиями.

4. Для балтийской трески и камбалообразных рыб свойственны сходные приспособительные адаптации к жизни в условиях Балтийского моря. Наблюдаются общие изменения в темпе созревания особей и возрастной структуре популяций в зависимости от их географического положения. Пелагическая икра балтийской трески и камбалообразных рыб демонстрирует общую тенденцию к увеличению своего диаметра по направлению с юго-запада на северо-восток, что является адаптацией к снижающейся солености воды. Для всех рассмотренных донных рыб свойственны также общие сроки начала, завершения, продолжительности и направления нерестовых и нагульных миграций в зависимости от районов расположения их популяций. В целом балтийскую треску и камбалообразных рыб правомерно выделить в особую группу морских донных балтийских рыб.
5. Согласно результатам экспериментальных работ, подтвержденных анализом эмпирических данных, в жизненном цикле балтийских донных рыб наиболее уязвимым является период начального этапа развития, так как именно в это время они находятся в наибольшей зависимости от влияния факторов внешней среды. В Балтийском море, оптимальные для нереста трески условия присутствуют только в придонных горизонтах глубоководных впадин, и выживаемость личинок зависит в первую очередь от солёности и содержания растворённого кислорода. Значения этих океанологических характеристик подвержены значительной изменчивости во времени, в особенности в центральных и восточных районах, и зависят от мощности и продолжительности адвекции водных масс из Северного моря в Балтийское. Температура воды на нерестилищах не испытывает столь значительных колебаний и за рассматриваемый период времени не опускалась ниже критических для развития икры трески значений. Тем не менее от температуры воды находится в прямой тесной зависимости ход физиологических процессов, в частности, длительность периода развития икры, интенсивность питания личинок и дальнейший темп их роста, что в итоге также оказывает существенное влияние на численность молодого поколения трески.
6. Обеспеченность молоди трески пищей (планктоном) является существенным, но, по-видимому, не определяющим фактором в

условиях Балтийского моря, в котором, учитывая его мелководность и хорошую прогреваемость поверхностных водных масс в летний период, формируется достаточное количество планктона, необходимого для нормального развития молоди трески, даже при объеме речного стока, близкого к норме. Отчетливо проявляется межвидовое взаимодействие популяций трески и щипрота по типу "хищник – жертва", результатом которого являются соответствующие автоколебания их численности.

7. Показатели динамики урожайности балтийских донных рыб за последние 30 – 50 лет демонстрировали значительные межгодовые и многолетние колебания. Максимальная амплитуда колебаний свойственна для выживаемости икры и численности молодого поколения в возрасте от 1 до 2 лет. Обнаружена достаточно тесная связь между многолетней динамикой урожайности различных видов донных рыб, что свидетельствует о единстве воздействующих на них воспроизводство океанологических условий.
8. Установлено наличие тесной значимой связи между динамикой численности молодых поколений донных рыб, как в центральных, так и в западных районах моря, с изменчивостью океанологических условий в придонном горизонте Готландской впадины. Это дает основания говорить о том, что гидрохимический режим в крупнейшей впадине моря во многом отражает ход единых крупномасштабных процессов, связанных со значительным по времени и объему поступлением североморских водных масс, положительным образом воздействующих на продуктивность донных рыб на большей части акватории Балтики.
9. Произведенный регрессионный анализ зависимости численности молодого поколения крупнейшей восточно-балтийской популяции трески от различных факторов среды показал, что наибольшая степень аппроксимации эмпирических данных свойственна тем уравнениям регрессии, где в качестве предикторов были использованы значения солёности и температуры воды в придонном горизонте Готландской впадины. При этом уравнение регрессии между численностью молоди трески и температурой воды можно рассматривать в качестве эффективной модели для прогноза экстремально высоких и экстремально низких значений урожайности трески. Составленное множественное уравнение регрессии, где в качестве предикторов использовались значения

солености, концентрации кислорода и температуры воды в придонном горизонте Готландской впадины, особенно хорошо отражает минимальные и средние значения урожайности восточно-балтийской трески. Данное уравнение, в силу наименьшей средней разности между наблюдёнными и рассчитанными значениями, можно рекомендовать в качестве наиболее точной модели для целей прогноза урожайности восточно-балтийской трески.

10. Сравнительный анализ степени промысловой эксплуатации популяций балтийской трески позволяет прийти к выводу о том, что наибольших величин за рассмотренный период времени антропогенное изъятие достигало в водах Германии и Дании. Уловы затрагивают прежде всего половозрелую часть популяций трески и камбалообразных. Отсутствие значимой связи между численностью молоди популяций балтийской трески и величинами уловов свидетельствует о том, что воздействие антропогенного пресса на воспроизводство трески не является определяющим. Однако значительное промысловое изъятие приводит к омоложению нерестовой части популяции, а у молодых особей, впервые приступающих к размножению, как правило, качество и количество половых продуктов более низкое, чем у старших возрастных групп рыб, что на фоне неблагоприятных условий для воспроизводства на нерестилищах потенциально может привести к еще более негативным последствиям. Возможно, именно этим объясняется тот факт, что после резкого сокращения биомассы нерестового стада в начале 1990-х годов процесс восстановления восточно-балтийской популяции трески протекает очень медленно, несмотря на некоторое улучшение условий воспроизводства на нерестилищах. Воздействие промысла на камбалообразных рыб существенно меньше, чем на популяции трески, однако в случае его резкого усиления риск внезапного сокращения их ресурсов более велик, чем для трески, так как для камбалообразных рыб свойственно формирование относительно малоподвижных плотных группировок особей, которые очень легко подвергаются воздействию промысла.

Таким образом, для предотвращения кризисных ситуаций в дальнейшем параметры эксплуатации стад балтийских донных рыб должны определяться исходя из текущего состояния и прогноза благоприятности океанологических условий среды для их воспроизводства. Величина общего допустимого улова донных рыб не должна превышать 35 % от их нерестовых запасов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алексин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 343 с.
2. Алексеев А.П. Хельсинская комиссия (ХЕЛКОМ), европейская морская стратегия, морская доктрина России. // Материалы XIII Международной конференции по промысловой океанологии. – Светлогорск – Калининград: Изд. АтлантНИРО, 2005, с. 20 – 26.
3. Алисов Б.П. Курс климатологии. Ч. 1 и 2. – Л.: Гидрометеоиздат, 1952.
4. Альтишuler В.М. Водообмен через Датские проливы и проблема анализа расчета водного баланса Балтийского моря // Труды ГОИН. – 1980. – Вып.152. – С. 67 – 77.
5. Антонов А.Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 248 с.
6. Антонов А.Е. Настоящее и будущее Балтики. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – 96 с.
7. Бабкин В.И., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю., Смирнов Н.П. Северо-Атлантическое колебание и многолетняя динамика стока рек Европы // Труды РГГМУ – 1999. Вып.123. – С.114 – 121.
8. Баранова Т.Д. Некоторые параметры восточно-балтийской популяции трески в подрайонах 26 и 28 в связи с динамикой её численности // Fischerei – Forschung. 1986. – Jg. 24, – N. 2. – S. 55 – 59.
9. Бетин В.В. Ледовые условия в районе Балтийского моря и на подходах к нему и их многолетние изменения // Труды ГОИН. – 1957. – Вып. 41. – С. 54 – 125.
10. Бирюков Н.П., Широкова М.Я. О росте трески Балтийского моря // Труды АтлантНИРО. – 1969. – Вып. 21. – С. 58 – 75.
11. Бирюков Н.П. Балтийская треска // Калининград: Изд. АтлантНИРО,1970.
12. Бирюков Н.П., Грауман Г.Б. Некоторые морфо – физиологические адаптации трески к солоноватым водам Балтийского моря, обусловливающие ее широкое распространение и высокую численность // Труды АтлантНИРО. – 1973. – Вып. 8. – С. 3 – 11.
13. Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. – Л.: Изд-во ЛГМИ, 1992. – 140 с.
14. Витиньши М.Я. Некоторые закономерности распределения и миграции речной камбалы (*Pltichthys flesus L.*) в Восточной и Северо-Восточной Балтике // Fischerei – Forschung. – 1976. – Jg. 14, N. 1. – S. 39 – 48.
15. Витиньши М.Я. Экологическая характеристика восточно-готландской популяции речной камбалы (*Pltichthys flesus L.*). Экосистемы Балтики. Ч. 1 Сб. докл. Междунар. симпозиум. – Гдыня, 1980. – С. 213 – 236.
16. Витиньши М.Я. Динамика запасов речной камбалы в Восточной и Северо-Восточной Балтике за период с 1970 по 1982 г. и влияние на нее естественных факторов и промысла // Fischerei – Forschung. – 1984. – Jg. 22. – N. 3. – S. 88 – 94.

17. Виллер А. Определитель рыб морских и пресных вод Северо-Европейского бассейна. – М.: Изд-во Лёгкая и пищевая промышленность, 1983 – 430 с. (пер. с англ.).
18. Вялов Ю.А. Долгопериодная изменчивость запасов основных промысловых рыб Северо-Восточной Атлантики и их согласованность с режимами вращения Земли во второй половине XX века и перспективы состояния запасов рыб в ближайшие десятилетия // В сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2002 – 2003 гг. Т. 1. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2003 – С.18 – 23.
19. Вялов Ю.А., Чернышков П.П. Крупномасштабные изменения апвеллинговых районов Атлантического и восточной части Тихого океанов. – В сб.: Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 1994 – 1995 гг. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1999. – С. 44 – 53.
20. Грауман Г.Б. Характеристика нереста и условий размножения трески в южной части Балтийского моря // Вопросы ихтиологии. – 1966. – Т. 6. – Вып. 4. – С. 629 – 635.
21. Грауман Г.Б. Значение размера икры балтийской трески для выживания эмбрионов // Труды АтлантНИРО. – 1969. – Вып. 21. – С. 86 – 89.
22. Грауман Г.Б. Экологические особенности воспроизводства основных пелагофильных рыб в Балтийском море // Fischerei – Forschung. – 1980. – Jg.18. – N. 2. – S. 77 – 81.
23. Грауман Г.Б. Методика прогнозирования величины пополнения балтийской трески с трёхлетней заблаговременностью. – В сб.: Оценка запасов промысловых рыб и прогнозирование уловов. – Москва, 1980. – С. 91 – 97.
24. Грауман Г.Б. Причины, обуславливающие колебания численности трески и широта в Балтийском море // Труды ВНИРО. – 1972. – Т. 23. – С. 249 – 268.
25. Грауман Г.Б. О значении отдельных нерестилищ в воспроизводстве балтийской трески // Труды АтлантНИРО. – 1971. – Вып. 35. – С. 69 – 75.
26. Дементьева Т.Ф. Изменения запасов промысловых рыб Балтийского моря под влиянием океанологических факторов // Океанология. – 1963. – Т. 3. – Вып. 5. – С. 876 – 885.
27. Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Гасанова Э.Г. Влияние солености воды на состав сообществ и формирование зон экотонов в Балтийском море // Ученые записки РГГМУ: Сборник статей. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. – С. 109 – 136.
28. Дроздов В.В. Воздействие климатических изменений в Северо-Атлантическом регионе на урожайность и уловы промысловых донных рыб Балтийского моря // Труды VII Конференции Русского географического общества по географии и картографированию Мирового океана. – СПб.: Изд. РГО, 2005. – С. 53 – 59.
29. Дроздов В.В. Особенности влияния климатических изменений на экосистему Балтийского моря // Труды Междунар. конф. "Климат и окружающая среда". – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. – С. 55 – 70.
30. Емельянов Е.М., Кравцов В.А. Гидрохимические особенности проникновения трансформированных североморских вод в юго-восточную Балтику // Океанология. – 2002. – Т.42. – № 1. – С. 54 – 59.
31. Жук В.А., Репетюк К.Ф., Чуткина Л.П. Районирование материков по характеру внутригодового распределения стока // Водные ресурсы. – 1983. – № 2. – С.53 – 71.

32. Зазера А.С. Многолетние изменения гидрологических характеристик глубинных вод юго-восточной Балтики (1980 – 2000 гг.). – В сб.: Промысловобиологические исследования АтлантНИРО в 2000 – 2001 гг. – Сборник научных трудов. – Т. 2 – Балтийское море. – Калининград, Изд. АтлантНИРО, 2002. – С. 7 – 12.
33. Зазера А.С. Грибов Е.А. Адвекция североморских вод в Балтийское море в 2003 году. – В сб.: Промысловобиологические исследования АтлантНИРО в 2002 – 2003 гг. Т. 1. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2004. – С. 103 – 115.
34. Залогин Б.С., Косарев А.Н. Природа мира. Моря. – М.: «Мысль», 1999. С. 121 – 129.
35. Ижевский Г.К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. – М.: Пищепромиздат, 1961. – 216 с.
36. Ижевский Г.К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводство промысловых рыб. – М.: 1964. – 165 с.
37. Исаченко Г.А. Окно в Европу – история и ландшафты. – СПб.: Изд-во СПбГУ. – 1998. – 475 с.
38. Калейс М.В. Кислородный режим Балтийского моря // Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. Т. 1. – М., 1984. – С. 68 – 81.
39. Каракеева Е.М. Репродуктивная стратегия Балтийской трески и некоторые аспекты формирования численности ее поколений // Вопросы рыболовства. – 2001. – Прил. 1. – с. 114 – 116.
40. Крындик А.Н. Межгодовые изменения ледовитости Балтийского моря и возможность их долгопериодного предсказания на основе учета осенинепредзимнего теплового состояния океана и атмосферы // Труды ГОИН. – 1965. – Вып. 86. – с. 3 – 35.
41. Кушинг Д.Х. Морская экология и рыболовство. – Москва: Изд-во Пищевая промышленность, 1979. – 288 с.
42. Лаблайка И.А., Узарс Д.В. Экология и учет численности трески в восточной Балтике // Fischerei – Forshung. – 1983. – Jg. 21. – Н. 3. – S. 24 – 31.28.
43. Львович М.И. Элементы водного режима рек земного шара // Труды НИУ. – 1945. – Сер. 4, Вып. 18. – 126 с.
44. Лукьяненко В.И. Токсикология рыб. – М.: Изд-во Пищевая промышленность. – 1967. – 216 с.
45. Масанова М.Д. Межгодовая изменчивость компонентов общей увлажненности территории Европы. – Л., 1979. – 179 с.
46. Масленников В.В. Климатические колебания и морская система Антарктики. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 220 с.
47. Макаров Р.Р., Масленников В.В., Солянкин Е.В., Швецов В.В. Океанологические условия и региональные особенности сезонных сукцессий в планктоне прибрежных вод Антарктического полуострова // Антарктика, 1982, вып. 21, с. 110 – 117.
48. Назович Л.Г. К вопросу о питании молоди балтийской трески // Труды ВНИРО. – 1954. – Т. 26. – С. 49 – 67.
49. Никольский Г.В. Частная ихтиология. – М.: Высшая школа, 1971. – 472 с.
50. Никольский Г.В. Экология рыб. – М.: Высшая школа, 1974. – 368 с.
51. Одум Ю. Экология: В 2-х т. Т.1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с.

52. Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. Т.1. – М., 1984. – С. 68– 81.
53. Пианка Э. Эволюционная экология. – Пер. с англ., под редакцией и с придисл. М.С. Гилярова – М.: Мир, 1981. – 400 с.
54. Проект “Моря СССР”. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. – Балтийское море, Вып. 1. Гидрометеорологические условия – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
55. Проект “Моря СССР”. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. – Балтийское море, Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994.
56. Смирнов Н.П., Вайновский П.А., Титов Ю.Э. Статистический диагноз и прогноз океанологических процессов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 200 с.
57. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. – 122 с.
58. Смирнова Н.Ф., Смирнов Н.П. Атлантическая треска и климат. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2000. – 222 с.
59. Смирнов Н.П., Дроздов В.В. Влияние факторов среды на урожайность балтийской трески во второй половине XX века // Научные труды РГГМУ. – Сборник статей. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004.
60. Соскин И.М. Многолетние изменения гидрологических характеристик Балтийского моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 163 с.
61. Старицын Д.К., Фукс В.Р., Самко Е.В., Филатов В.Н. Особенности концентрации промысловых организмов в зонах волновой и вихревой конвергенции течений // Материалы XIII Международной конференции по Промысловой океанологии. – Светлогорск – Калининград. Изд. АтлантНИРО, 2005. – С. 259 – 261.
62. Суставов Ю.В. Водообмен Балтийского моря с Северным и его основные компоненты. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря // Международный проект “Балтика”, Вып.1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – С. 45 – 56
63. Суставов Ю.В., Михайлов А.Е. Основные виды движений и оценка их вклада в общую динамику вод Балтийского моря. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря // Международный проект “Балтика”, Вып.2, Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – С. 5 – 13.
64. Суставов Ю.В. Формирование изменчивости гидрофизических процессов в морях с различным характером водообмена с океаном. Режимообразующие факторы, информационная база, и методы её анализа. – Л., 1989. – С. 266 – 288.
65. Токарева Г.И. Методика определения возраста (по отолитам) и особенности роста трески Балтийского моря // Труды АтлантНИРО. – 1963. – Вып. 10. – С. 179 – 191.
66. Хунфера П. Балтика – маленькое море, большие проблемы. – Пер. с нем – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 136 с.
67. Чернышков П.П. Масштабы и механизмы влияния океанологических условий на крупномасштабные изменения популяций пелагических рыб в районах апвеллингов // Современные проблемы промысловой океанологии. – М.: Изд-во ВНИРО, 1997. – С. 138 – 139.

68. Чечкин С.А. Основы геофизики. – Л.:Гидрометеоиздат, 1990. – 288 с.
69. Чижевский А.Л. Земное эхо Солнечных бурь. – М.: «Мысль». – 1976. – 364 с.
70. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. Л.: Изд. ЛГМИ. – 1983. – 155 с.
71. Широкова М.Я. Особенности раннего онтогенеза балтийской трески // Труды Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и морепромышленности. – 1971. – Вып. 35. – С.113 – 122.
72. Эйхлер В. Яды в нашей пище. – Пер. с нем. – М. «Мир». – 1993. – 190 с.
73. Ярвекюльг А.А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. – Таллинн: Валгус, 1979. – 382 с.
74. Assessment of the effects of pollution on the natural resources of the Baltic Sea. Baltic marine environmental protection commission // Helsinki commission. – 1981. – N. 5B. – P.1 – 426.
75. Bagge O., Thurow F. The Baltic cod stocks: fluctuations and possible causes // Rapp. Proc.- verb. Reun. Cons. Intern. Explor. Mer. – 1994. – Vol. 166. – P. 103 – 105.
76. Bagge O., Thurow F., Steffensen. The Baltic cod. Danish institute for Fisheries and Marine Research // Dana. – 1994, Vol. 10. – P. 1 – 28.
77. Belt Project. Seawater exchange of the Baltic. Measurement and methods // By Torben Schelde. – Denmark, 1980. – 107 p.
78. Bignert, A., Nyberg E., Asplund L., Comments Concerning the National Swedish Contaminant Monitoring Programme in Marine Biota. Report to the Swedish Environmental Protection Agency, 2007. – 128 p.
79. Brasket A., Curry J., Maslanik J. Sea – ice variability in the Greenland and Labrador Seas and their interaction with the North Atlantic Oscillation // In: Conference on Polar Processes and Global Climate: Draft Summary Report. – Oslo. – Norway, 1997. – P. 23 – 25.
80. Climate and Fisheries. Interacting paradigms, Scales, and Policy Approaches // The IRIPRC Pacific Climate Fisheries Workshop. Honolulu, 14 – 17 November, 2001. – P. 67.
81. Elmgren R. Ecological and trophic dynamics in the enclosed, brackish Baltic Sea // ICES Symp. on biol: production on continental shelves in the temperate of the North Atlantic, Kiel, March 1982. – N 27. – P. 1 – 50.
82. Fonselius S.H. On long-term variations of dissolved oxygen in the deep water of the Baltic Sea // Baltic Sea Environment Proc. – 1986. – N. 19, P. 1 – 22.
83. Grimås, U., Göthberg, A., Notter, M., Fat Amount - A Factor to Consider in Monitoring Studies of Heavy Metals in Cod Liver. Ambio VOL 14, No 3, pp 175–178.
84. Henk W. Van Der Veer, Rudiger Berghahn, Adriaan D. Rijnsdorp. Impact of juvenile growth on recruitment in flatfish // Netherlands Jurnal of Sea Research, Vol. 32 (2) 1994, p. 153 – 172.
85. Jensen A.J. Periodic fluctuations in the size of various stocks of fish and their causes // Medd. Komm. Havundersog., Fisk. – 1933.
86. Klyashtorin L.B., Lyubishin A.A. On the coherence between dynamics of the World fuel consumption and Global Temperatyre anomaly // Energy and Environment, Vol. 14 № 6, 2003, p. 773 – 782.
87. Knudsen J. Contribution to the biology of the cod (*Gadus callarias* L.) in the Danish water // Rapp. Proc.- verb. Reun. Cons. Intern. Explorer. Mer. – 1954. – Vol. 136. – P. 37 – 48.

88. *Lars-Eric Persson*. Were macrobenthic changes induced by thinning out of flatfish stocks in the Baltic Proper ? // *Ophelia – Int. Journal of Marine Biology.* – 1981. – Vol. 20 (2). – p. 137 – 152.
89. *Mann K. H.* Physical oceanography, food chains and fish stocks: a review // – *ICES J. Mar Sci.* – 1993. – Vol. 50 (2). – P. 103 – 119.
90. *Matthaus W.* Stagnation periods in the Gotland Basin deep water // *Proceedings of the Second Marine Geological Conference. – The Baltic.* Institute fur Ostsee-forschung, Rostoc – Warnemunde, 1995. – № 4. – P. 95.
91. *Myers R.A., W. Blanchard; K.R. Thompson.* Summary of North Atlantic fish recruitment 1942 – 1987. – *Can. Techn. Rep. Fish. Aquat. Sci.* – 1990. – Vol. 174. – p. 1 – 97.
92. *Nissling A.* Survival of eggs and yolk-sac larval of Baltic cod (*Gadus morhua L.*) at low oxygen levels in differt salinities. – *ICES Mar. Sci. Symp.*, 1994, vol. 198, p. 626 – 631.
93. *Nookes D.J., Beamish R.S., Klyashtorin L.B.* On the Coherence of Salmon abundance trends and environmental factors // *NPAFC, Bulletin № 1*, 1998, p. 454 – 462.
94. *Otterlind G.* On flactuation of the Baltic cod stock. – *ICES CM 1984/J: 14*, 1984. – 10 p.
95. *Otterlind G.* Cod migration and transplantation experiments in the Baltic. – *Z.Angev. Ichthyol.*, 1985, vol. 1(1), p. 3 – 16. *Explor. Mer.* – 1974. – Vol. 166. – P. 97 – 102.
96. *Pihl L.* Year-class strength regulation in plaice (*Pleuronectes platessa L.*) on the Swedish west coast. – *Hydrobiologia*. – 1990. – Vol. 195. – P. 79 – 88.
97. *Poulsen E.M.* Investigation of fluctuations in the cod stock in Danish waters // *Rapp. Proc.- verb. Reun. Cons. Intern. Explor. Mer.* – 1930. – Vol. 74. – P. 57 – 68.
98. Review of the state of World fishery Resources: marine fisheries. *FAO Fisheries Circular, № 920.*, FAO, Rome. – 1997. – 173 p.
99. *Steele J.H., Henderson E.W.* Modeling long-term fluctuations in fish stocks. – *Science.* – 1984. – Vol. 224. – p. 985 – 987.
100. *Thorell L.* Pollutants from Swedish municipal and industrial outlets into the Baltic Sea. – *Ambio Special Report.* – 1977. – Vol. 5. – p. 213 – 218.
101. *Thurow F.* Changes in population parameters of cod in the Baltic. – *Rapp. P.-v. Reun. Cons. perm. Int. Explor.* – 1974. – Vol. 166. – p. 85 – 93.
102. [www.Nordclimate.dataset.v1.1.0.Excel.com](http://www.Nordclimate.dataset.v1.1.0.Excel.com)
103. [www.helcom.org](http://www.helcom.org)
104. [www.helcom.fi/environment2/ifs](http://www.helcom.fi/environment2/ifs).

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение .....	5
Глава 1. Колебания климата и океанологических условий .....	9
1.1. Атмосферная циркуляция .....	9
1.2. Температура воздуха .....	14
1.3. Температура воды и ледовые условия .....	22
1.4. Речной сток .....	31
1.5. Уровень моря .....	41
1.6. Водообмен между Балтийским и Северным морями .....	52
1.7. Соленость воды .....	57
1.8. Содержание растворённого кислорода .....	68
1.9. Обобщённая характеристика колебаний климата и океанологических условий .....	76
Глава 2. Донные рыбы в экосистеме Балтийского моря .....	110
2.1. Общая характеристика ихтиофауны .....	110
2.2. Балтийская треска .....	118
2.2.1. Структура популяции, рост и половое созревание .....	121
2.2.2. Питание и пищевые взаимоотношения .....	126
2.2.3. Воспроизводство трески .....	130
2.3. Балтийские камбалообразные рыбы .....	140
2.3.1. Речная камбала .....	142
2.3.2. Морская камбала .....	154
2.3.3. Лиманда .....	159
2.3.4. Тюरбо .....	162
2.4. Динамика урожайности и уловов донных рыб .....	164
Глава 3. Влияние колебаний климата и факторов среды на показатели урожайности донных рыб .....	192
3.1. Урожайность и уловы донных рыб в связи с изменчивостью климата и факторов среды .....	192
3.2. Урожайность донных рыб и антропогенный пресс .....	229
Заключение .....	236
Список литературы .....	241

## **CONTENTS**

Introduction . . . . .	5
Chapter 1. Fluctuations of the climate and ocean conditions . . . . .	9
1.1 Atmospheric circulation . . . . .	9
1.2 Air temperature . . . . .	14
1.3 Temperature of water and ice conditions . . . . .	22
1.4 River runoff . . . . .	31
1.5 The sea level . . . . .	41
1.6 Water exchange between the Baltic and North Seas . . . . .	52
1.7 Salinity of water . . . . .	57
1.8 Dissolved oxygen level . . . . .	68
1.9 Generalized characteristic of fluctuations of the climate and ocean conditions . . . . .	76
Chapter 2. Bottom-dwelling fishes in the ecosystem of the Baltic Sea . . . . .	110
2.1 General characteristic of fish fauna . . . . .	110
2.2. Baltic cod . . . . .	118
2.2.1 Structure of population, growth and maturing . . . . .	121
2.2.2 Nutrition and food relations . . . . .	126
2.2.3 Reproduction of cod . . . . .	130
2.3 Baltic flatfish species . . . . .	140
2.3.1 River flounder flounder ( <i>Pleuronectes flesus L.</i> ) . . . . .	142
2.3.2 Plaice ( <i>Pleuronectes platessa L.</i> ) . . . . .	154
2.3.3 Dab ( <i>Limanda limanda</i> ) . . . . .	159
2.3.4 Turbot . . . . .	162
2.4 Dynamics of productivity and catches of bottom-dwelling fishes . . . . .	164
Chapter 3. Influence of climate fluctuations and environmental factors on parameters of bottom-dwelling fish productivity . . . . .	192
3.1 Productivity and catches of bottom-dwelling fishes as related with variability of the climate and environmental factors . . . . .	192
3.2 Productivity of bottom-dwelling fishes and the anthropogenic load . . . . .	229
Conclusions . . . . .	236
References . . . . .	241

**Научное издание**

**В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов**

**КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И  
ДОННЫЕ РЫБЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

**Монография**

*Редакторы: И.Г. Максимова, Л.В. Ковель  
Компьютерная верстка Н.И. Афанасьевой*

**ЛР № 020309 от 30.19.96.**

---

Подписано в печать 24.06.08. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 16,6. Тираж 500 экз. Заказ № 39/08.  
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.  
ЗАО «НПП «Система», 197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1.

---

160 - 60