

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 574.58:504.054

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
КИЗИЛТАШСКИХ ЛИМАНОВ В 2011 ГОДУ

© 2016 г. М. В. Медянкина, Т. А. Самойлова, Е. С. Дмитриева, О. В. Сергеева,
А. М. Храмова, К. А. Кузьмина, А. В. Каширин, Н. А. Рудакова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
Москва, 107140

E-mail: asamojlova@mail.ru

Поступила в редакцию 29.09.2015 г.

В работе обобщены результаты химических, эколого-токсикологических и гидробиологических исследований Кизилташских лиманов, выполненных в 2011 г. в рамках комплексного экологического мониторинга прибрежных черноморских экосистем. Состав и структура фито- и зоопланктона Кизилташских лиманов подвержены значительным сезонным изменениям. Отмечена высокая численность и биомасса бентосных форм при относительно низком видовом разнообразии. Содержание загрязняющих веществ в различных компонентах экосистемы Кизилташских лиманов в целом соответствует рыбохозяйственным и экологическим нормативам. Полученные значения можно принять за фоновые для района исследований, они находятся в пределах естественных природных колебаний. Результаты могут быть использованы для планирования экологического мониторинга при увеличении антропогенной нагрузки на исследованную экосистему.

Ключевые слова: Кизилташские лиманы, прибрежные экосистемы, экологический мониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Лиманы Северо-Восточного Причерноморья — высокопродуктивные экосистемы, которые имеют большое рыбохозяйственное и рекреационное значение. Особенности природных условий (мелководность, опресненность, высокая температура, обилие биогенных элементов и т.д.) в сочетании с присутствием в составе флоры и фауны пресноводных, солоноватоводных и морских форм определяют большое биологическое разнообразие и высокую продуктивность этих водоемов. Лиманы служат местом нагула морских промысловых рыб и традиционно используются для пастбищной марикультуры. В настоящее время запасы многих промысловых видов рыб в Черном море и в водоемах его бассейна значительно истощены, в связи с чем проблема рационального использования природных ресурсов

моря и прибрежных водоемов (лагун и лиманов) приобретает особую актуальность (Демьянко, 1996).

В 1955 г. на базе Кизилташских лиманов (Бугазского, Кизилташского, Цокур) общей площадью 24,4 тыс. га было создано кефалевое товарное хозяйство. Осенью в них вылавливалась как крупная половозрелая кефаль, так и ее молодь. С 1978 г. профиль хозяйства был изменен. Кизилташские лиманы стали использоваться в качестве нагульно-воспроизводственных для пополнения кавказского стада кефалей. Для азово-черноморских кефалей (лобана *Mugil cephalus*, сингиля *Mugil auratus*, остроноса *Liza saliens*) нагул в лиманах и лагунах является биологической необходимостью. Кроме кефалей в Кизилташских лиманах обитает большое количество атерины черноморской *Atherina tochon pontica*, бычков *Neogobius*

melanostomus и *N. kessleri*, камбалы-глоссы *Platichthys flesus luscus*, креветки *Palaemon adspersus* (Никитина, 2006).

Кизилташские лиманы испытывают достаточно высокую антропогенную нагрузку. Основным источником загрязнения, в основном нефтяными углеводородами, может стать порт Тамань, расположенный в районе мыса Железный Рог, приоритетными грузами которого служат нефть и нефтепродукты, а также сжиженные углеводородные газы, аммиак и зерно. Данный порт в 2011 г. находился еще в состоянии строительства, но отдельные терминалы уже функционировали. Кроме того, в районе между мысом Железный Рог и Бугазской косой запланировано строительство еще одного морского терминала по перевалке нефти и нефтепродуктов. В рамках этого проекта планируется строительство нефтепровода, который пройдет вблизи лимана Цокур.

В этих обстоятельствах имеет большое значение мониторинг экологического состояния Кизилташских лиманов. В работе обобщены результаты химических, эколого-токсикологических и гидробиологических

исследований Кизилташских лиманов, выполненных в 2011 г. в рамках комплексного экологического мониторинга прибрежных черноморских экосистем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в весенний (май), летний (июль-август) и осенний (сентябрь-октябрь) периоды 2011 г. На 21 станции отбирали пробы воды и донных отложений для исследования на загрязненность, выполняли гидробиологические исследования (рис. 1). В отобранных образцах определяли следующие показатели:

- состояние макрофитов, фито- и зоопланктона, макрозообентоса;
- содержание в воде и донных отложениях металлов (меди, марганца, железа, кадмия, никеля, цинка, свинца и кобальта), нефтепродуктов и фенолов в воде;
- токсичность воды и донных отложений методом биотестирования;
- содержание металлов в мышцах и печени моллюсков рапана *Rapana thomasi*.

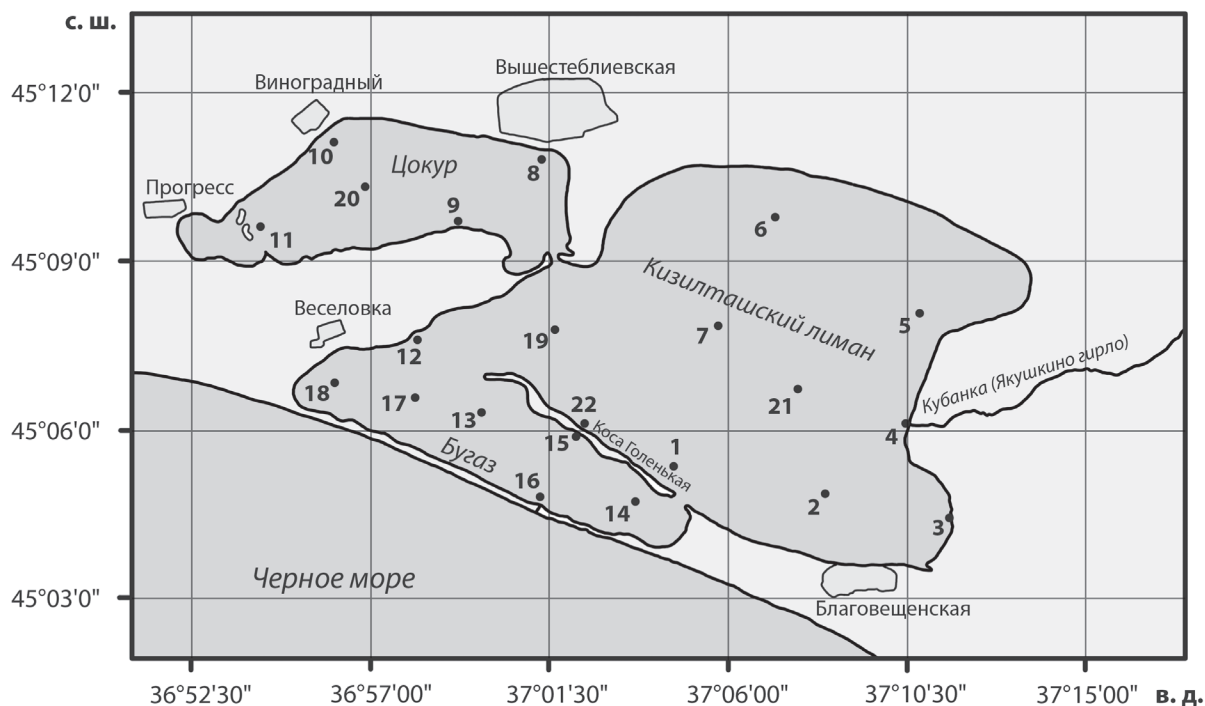


Рис. 1. Сетка станций в районе исследований в 2011 г.

Гидробиологические исследования выполняли в соответствии с «Руководством по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений», утвержденным Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (Абакумов, 1983), и в соответствии с «Методами рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне» (2005).

Химический анализ проводили в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.140-98 (определение металлов электротермическим атомно-абсорбционным методом на приборе Квант-Z.ЭТА); содержание тяжелых металлов в воде — РД 52.10.243-92, в донных отложениях — РД 52.10.556-95 и в рапанах — ГОСТ 30178-96; содержание фенолов и нефтепродуктов определяли согласно ПНД Ф 14.1:2:4.182-02 (методика выполнения измерений массовой концентрации фенолов в пробах питьевых, природных и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02») и ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 (методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02»).

Биотестирование проводили на морских стандартных тест-организмах: одноклеточных водорослях феодактилум *Phaeodactylum tricornutum* (ГОСТ Р 53910-2010) и планктонных ракообразных артемиях *Artemia salina* (ГОСТ Р 53886-2010).

Кроме того, исследовали пробы воды из реки Кубанка до ее впадения в Кизилташский лиман на пресноводных стандартных тест-организмах: одноклеточных водорослях сценедесмус *Scenedesmus quadricauda* и планктонных ракообразных дафниях *Daphnia magna* (Руководство ..., 2002).

Критерием токсичности при анализе воды и водных вытяжек из донных отложений на водорослях служило изменение уровня замедленной флуоресценции по отношению к контролю, характеризующее скорость

фотосинтеза водорослей. В качестве критерия токсичности при анализе на ракообразных служила выживаемость рачков.

Оценку качества воды проводили по соответствию содержания веществ рыбохозяйственным нормативам (Нормативы ..., 2011).

Оценку уровней содержания металлов в донных отложениях лиманов проводили по результатам их сопоставления с нормативами для донных отложений и почв, принятых в Нидерландах, поскольку российские нормативы для донных отложений отсутствуют, а также с нормативами для почв, принятых в российских методических указаниях (МУ 2.1.7.730-99). Для нормативов, принятых в Нидерландах, экологические нормативы — это приближенный аналог российского ПДК р/х. Критерием при его установлении является состояние экосистемы. Условно считается, что при соблюдении данного норматива экосистеме не наносится ущерба. Нормативы санации — это предельно допустимые концентрации, при достижении которых требуется проведение незамедлительной очистки.

Подготовку проб донных отложений и гидробионтов (брюхоногого моллюска рапана) к проведению количественного химического анализа (КХА) тяжелых металлов проводили в соответствии с ГОСТ 26929-94. Концентрации металлов в тканях моллюсков сравнивали с санитарно-гигиеническими нормативами (СанПиН 2.3.2.1078-01, СанПиН 42-123-4089-86).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень развития макрофитов. Кизилташские лиманы — мелководные водоемы, сильно заросшие «мягкой» подводной растительностью. Макрофиты лиманов местами образуют густой подводный ковер.

В основном в лимане встречаются три вида высшей водной растительности. Тростник обыкновенный *Phragmites communis* отмечен во всех трех лиманах в прибрежной

зоне, в местах выхода пресных вод. Больших зарослей он не образует. Массовое развитие в лиманах получила руппия спиральная *Ruppia spiralis*, которая густым подводным ковром покрывает около 80% площади лиманов. В некоторых частях лиманов в густых зарослях руппии отмечена zostера морская *Zostera marina*. В составе фитоценозов погруженных макрофитов (руппии и zostеры) обильно развиваются нитчатые водоросли *Cladophora* (род *Rhizoclonium*). Наиболее интенсивно нитчатые водоросли развиваются в июле и августе, в сентябре-октябре площадь зарастания ими, как правило, резко сокращается. Биомасса нитчатых водорослей в различных участках лиманов колеблется: в июне от 27 до 108, в августе — от 240 до 470 г/м² сырой массы. Наибольшая степень зарастания отмечена в мелководных лиманах Бугазский и Цокур. В этих лиманах при проективном покрытии 80–90% отмечалась максимальная биомасса макрофитов (7–8 кг/м²), состоящая из нитчатых водорослей, энтероморфы, zostеры и руппии. При проективном покрытии ложа лиманов

в 10–15% биомасса макрофитов колеблется от 0,3 до 0,8 кг/м².

Макрофиты после своего отмирания являются источником пополнения детрита — основного корма кефалевых, но при чрезмерном их развитии условия нагула рыб ухудшаются. Иногда в утренние часы, в период отмирания растительности и в штиль, наблюдается снижение содержания кислорода в воде до 30–50%, а в зарослевой зоне отмечаются заморные явления. Так, в августе, в период повышения температуры, при сгоне отмирающей растительности в прибрежную зону наблюдается гибель бокоплавов, креветок, полихет и моллюсков на глубине 40–50 см.

Ежегодное отмирание и разложение значительной продукции растительности приводит к быстрому заиливанию лиманов, в настоящее время достигающему 0,2–1,0 м, а на некоторых участках до 1,5–2,0 м.

Макрофиты являются одним из основных источников обогащения лиманов первичным органическим веществом. Ежегодно около 200–300 тыс. т макрофитов продуцировалось и отмирало, более 80–90% этой

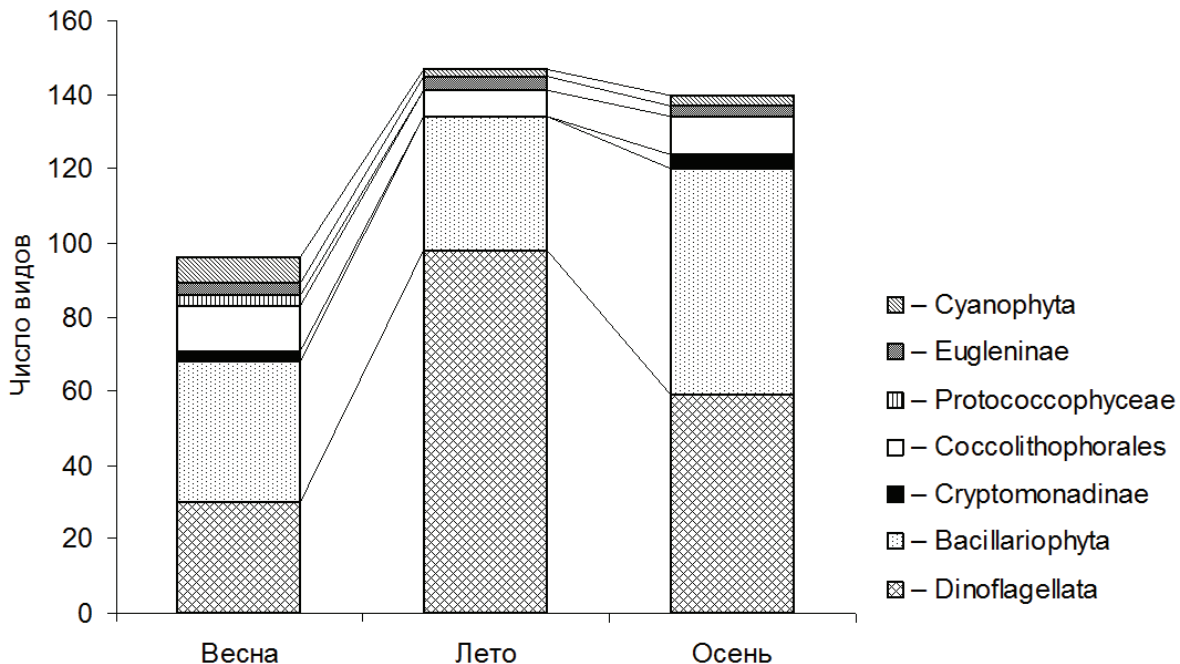


Рис. 2. Основные формы фитопланктона Кизилташских лиманов (число видов) в разные сезоны года.

массы опускалось на дно, постепенно превращаясь в растительный детрит. По данным летних съемок (июль-август), биомасса детрита в трехсантиметровом слое составила 1,0–2,5 кг/м².

Состав и структура фитопланктона. Для Кизилташских лиманов характерно слабое развитие фитопланктона. Значительное влияние на его развитие оказывает зарастание лиманов. В связи с этим в лиманах в летний период отмечена высокая прозрачность — от 50 до 150 см, которая к осени уменьшается.

В составе фитопланктона Кизилташских лиманов в течение вегетационного сезона были отмечены представители 116 видов фитопланктонных организмов, относящихся к семи систематическим группам: Bacillariophyta, Dinoflagellata, Cryptomonadinae, Coccolithophorales, Protococophyceae, Eugleninae и Cyanophyta (рис. 2). Наибольшее распространение во всех трех лиманах получили Bacillariophyta и Dinoflagellata, остальные группы развиты слабо и отмечены спорадически.

Показатели численности и биомассы фитопланктона невысоки. Наибольшая численность фитопланктона отмечена в среднем за сезон в лиманах Цокур (600–800 млн экз/м³) и Бугазский (500–650 млн экз/м³) в основном за счет развития пиропфитовых и сине-зеленых водорослей. В Кизилташском лимане в результате значительного перемешивания водных слоев и повышенной мутности эти показатели ниже. Во всех лиманах отмечено увеличение развития микроводорослей во второй половине августа и в сентябре, доминантами являлись пиропфитовые и диатомовые водоросли.

Состав и структура зоопланктона. Основную роль в зоопланктоне лиманов (количественно) играли веслоногие ракообразные (рис. 3). В планктоне отмечены также личинки моллюсков (Mollusca), полихет (Polychaeta), хирономид (Chironomidae) и десятиногих раков (Decapoda).

Весной обычно отмечается общее увеличение биомассы зоопланктона за счет развития морских форм веслоногих ракообразных, молоди полихет и моллюсков — от

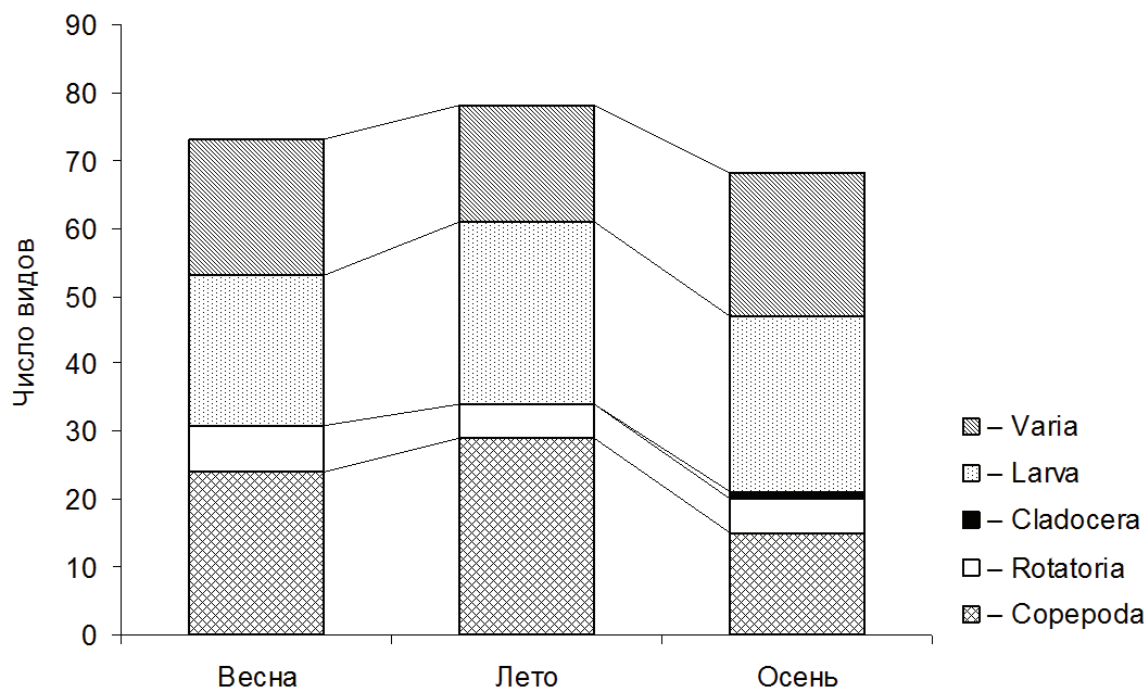


Рис. 3. Основные формы зоопланктона Кизилташских лиманов (число видов) в разные сезоны года.

0,18 до 0,67 г/м³. Летом интенсивность развития зоопланктона снижается во всех лиманах до 0,004–0,13 г/м³, осенью эти показатели аналогичны (0,003–0,12 г/м³).

Состав и структура зообентоса. Зообентос в лиманах представлен полихетами, олигохетами, хирономидами, ракообразными и моллюсками (рис. 4).

Видовой состав зообентоса в первые годы организации кефалевого хозяйства был разнообразнее, чем в последующие и в исследуемый период. Если в 1955–1956 гг. был отмечен 41 вид, то в 1993–1994 гг. зарегистрировано только 14 видов представителей зообентоса. Особенно резко сократилось число видов моллюсков: с 14 до 4 видов. В последние годы также в основном встречаются четыре вида. Значительную роль в составе зообентоса «мягкой» фауны играют полихеты и ракообразные. Общая биомасса и численность зообентоса довольно значительна — 86–190 г/м², или 49–430 экз/м², однако биомасса зообентоса достигает больших величин в основном за счет моллюсков крупных форм. Биомасса «мягкой» фауны также довольно высока,

в среднем по лиманам она составляет 1,7–12,6 г/м².

Полученные в данном исследовании качественные и количественные характеристики биоты Кизилташских лиманов находятся в пределах естественных природных колебаний и могут служить фоновыми данными при проведении экологического мониторинга в этом районе.

Содержание загрязняющих веществ в воде. На протяжении периода исследований содержание в воде нефтепродуктов, фенолов и растворенных форм металлов (Кузьмина и др., 2012) в целом было ниже уровня рыбохозяйственных ПДК (табл. 1).

Превышение ПДК было отмечено для меди и цинка в весенний период. Содержание в воде меди превышало ПДК только в одной пробе (из Кизилташского лимана), в остальных пробах концентрации меди были примерно на одном уровне, сопоставимом с ее содержанием в воде летом и осенью (рис. 5). Для цинка превышение ПДК было отмечено в двух пробах воды также из Кизилташского лимана, где содержание цинка и в целом было выше, чем в Бугазском лимане и лимане

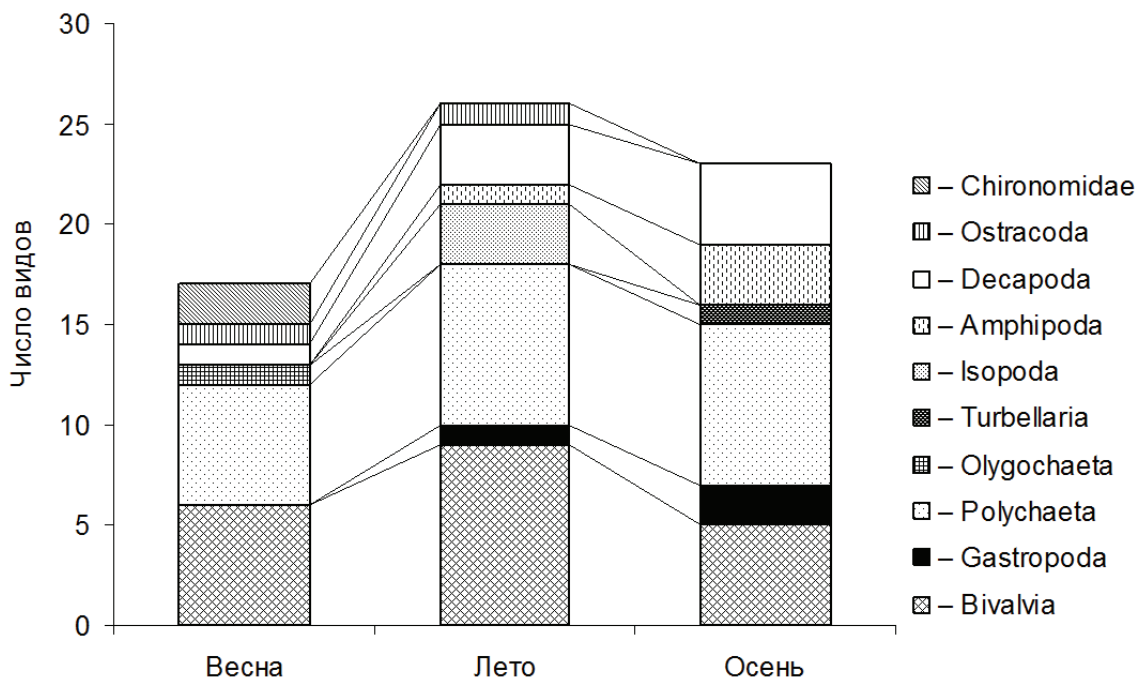


Рис. 4. Основные формы зообентоса Кизилташских лиманов (число видов) в разные сезоны года.

Таблица 1. Содержание загрязняющих веществ в воде Кизилташских лиманов в 2011 г., мкг/л

Вещество	Период наблюдения	Содержание в воде	ПДК р/х*
Cu	Май	1,37– 11,64	5,0
	Июль	0,62–2,88	
	Сентябрь	0,04–2,03	
Mn	Май	0,49–6,24	50,0
	Июль	0,06–4,13	
	Сентябрь	0,16–2,42	
Fe (общее)	Май	1,55–32,40	50,0
	Июль	1,56–24,60	
	Сентябрь	1,10–29,40	
Cd	Май	0,06–1,08	10,0
	Июль	0,01–0,07	
	Сентябрь	0,01–0,05	
Ni	Май	1,10–6,34	10,0
	Июль	0,12–3,23	
	Сентябрь	1,38–3,80	
Zn	Май	2,40– 64,56	50,0
	Июль	0,12–11,52	
	Сентябрь	0,12–7,80	
Pb	Май	–	10,0
	Июль	0,01–0,05	
	Сентябрь	0,01–0,03	
Co	Май	0,12–0,76	5,0
	Июль	0,12–1,39	
	Сентябрь	0,05–0,95	
Hg	Май	< 0,015	0,1
	Июль		
	Сентябрь		
Нефтепродукты	Май	5,00–16,30	50,0
	Июль	2,00–34,30	
	Сентябрь	–	
Фенолы	Май	0,00–0,50	1,0
	Июль	0,09– 1,97	
	Сентябрь	–	

Примечание. * Предельно допустимые концентрации вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения; полужирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

Цокур (рис. 6). В целом отмечено более высокое содержание металлов в воде весной по сравнению с летом и осенью.

Содержание нефтепродуктов в воде за период наблюдений не превышало величину рыбохозяйственной ПДК. Наибольшие концентрации нефтепродуктов в воде отмечены в летний период. Максимальное

содержание нефтепродуктов летом обнаружено в лимане Бугазский и прилегающей к нему южной части Кизилташского лимана (рис. 7).

Значительное содержание нефтепродуктов также отмечено в двух восточных бухтах Кизилташского лимана, в то время как в центральной его части концентрация

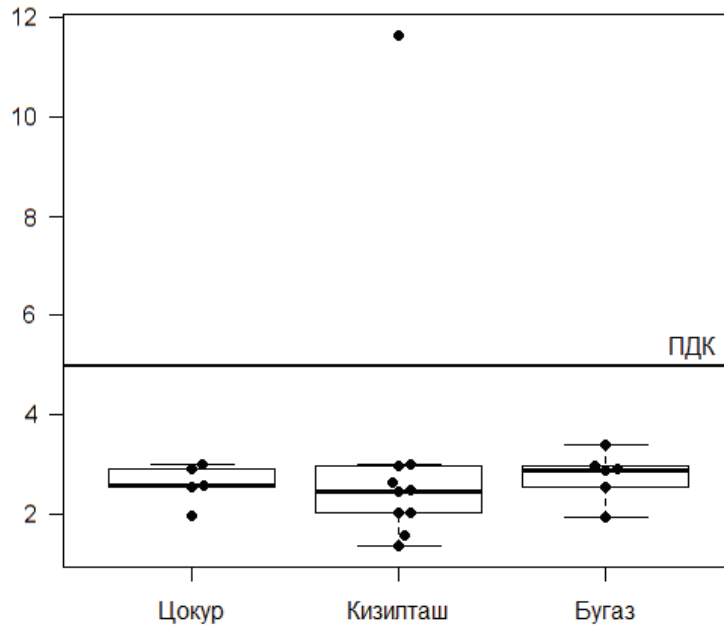


Рис. 5. Содержание меди в воде Кизилташских лиманов в мае 2011 г., мкг/л.

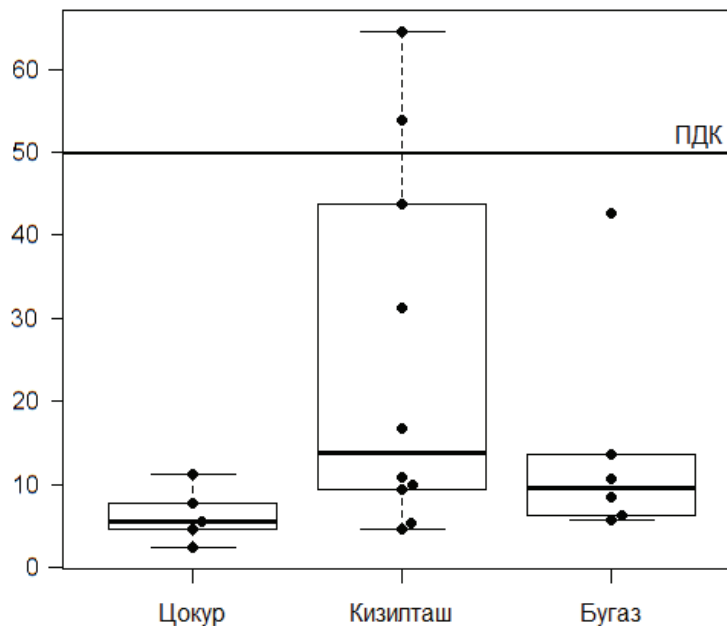


Рис. 6. Содержание цинка в воде Кизилташских лиманов в мае 2011 г., мкг/л.

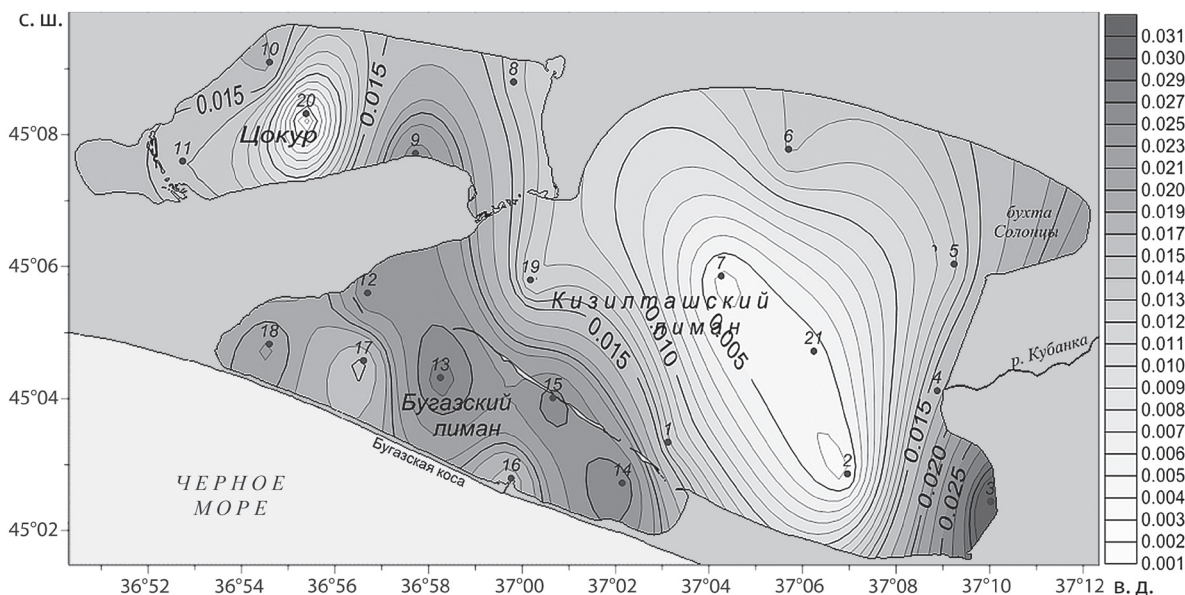


Рис. 7. Содержание нефтепродуктов в воде Кизилташских лиманов в летний период, мг/л.

нефтепродуктов в воде незначительна. Подобная динамика может быть объяснена активностью хозяйственной, в том числе и бытовой, деятельности, пик которой в курортных районах Черного моря приходится на летний период. При оценке распределения фенолов в районе исследований в летний период было выявлено превышение рыбохо-

зяйственной ПДК в 1,5–2,0 раза на семи станциях: на четырех станциях в восточной части Кизилташского лимана (к западу от устья реки Кубанки) и на трех — в южной части лимана Цокур (рис. 8).

Повышенное содержание летом фенолов в воде лиманов Кизилташский и Цокур можно объяснить колебаниями концен-

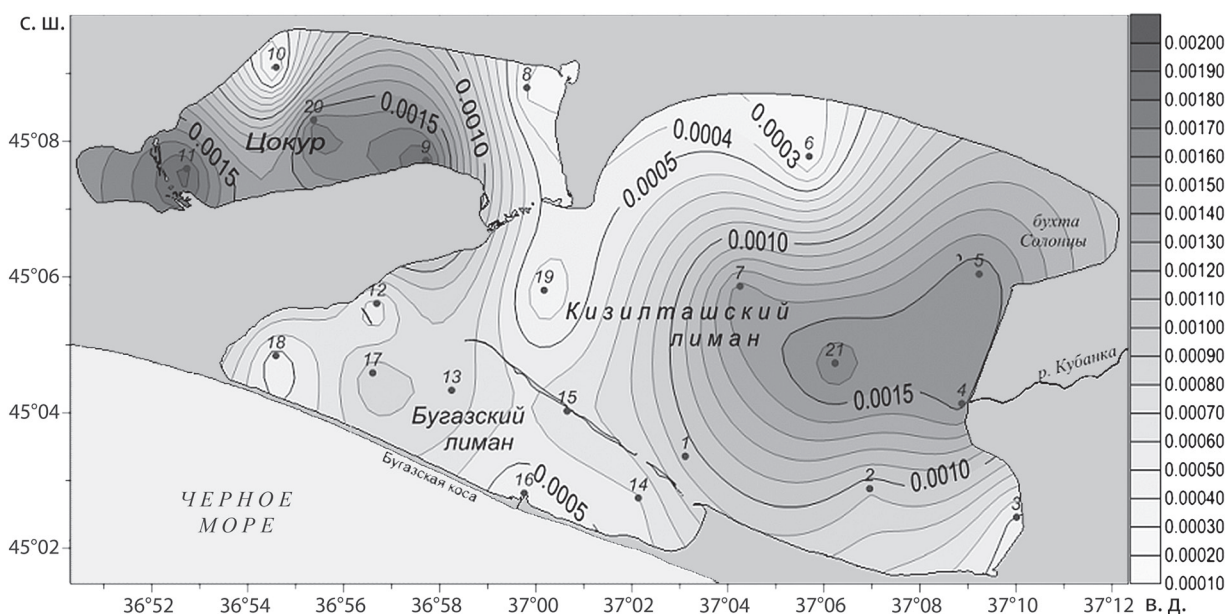


Рис. 8. Содержание фенолов в воде Кизилташских лиманов в летний период, мг/л.

траций фенолов природного происхождения, продуцируемых, скорее всего, высшей водной растительностью. В соответствии с полученными результатами динамика содержания фенолов в воде исследуемых акваторий выглядела следующим образом: наибольшее накопление фенолов в воде отмечалось в летний период, характеризующийся высокой температурой воды и, как следствие, повышенным уровнем вегетации. Осенью выявлено значительное снижение концентрации фенолов по отношению к летним показателям, что, по-видимому, связано со снижением температуры воды и окончанием вегетации. Повышенная концентрация фенолов весной может быть приурочена к началу процесса образования первичной продукции в лиманах.

Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях Кизилташских лиманов представлено в табл. 2. На протяжении периода исследований содержание металлов в донных отложениях в разные сезоны отличалось незначительно и в целом соответствовало существующим нормативам (Кузьмина и др., 2012). Содержание нефтепродуктов в донных отложениях Кизилташских лиманов во все исследованные сезоны не превышает природный биогенный уровень углеводов — 0,05 мг/г (Немировская, 2008). Наибольшие концентрации нефтепродуктов отмечены весной.

Таким образом, на протяжении исследованного периода среда обитания гидробионтов в Кизилташских лиманах в целом соответствовала рыбохозяйственным и экологическим нормативам.

За период исследований отмечена тенденция уменьшения концентраций растворенных форм металлов в воде летом и осенью по сравнению с весной, содержание нефтепродуктов и фенолов наибольших значений достигало летом. В донных отложениях содержание металлов на протяжении исследованного периода оставалось приблизительно на одном уровне, наибольшее содержание нефтепродуктов отмечено весной.

Результаты биотестирования воды Кизилташских лиманов. Результаты биотестирования воды Кизилташских лиманов на фитопланктонных (феодактилум) и зоопланктонных (артемия) тест-организмах представлены на рис. 9.

Количество станций, где было выявлено токсическое действие на одноклеточные водоросли, в целом выше, чем количество таких станций для ракообразных. Весной вода была практически нетоксична для артемий и токсична для водорослей на большинстве исследованных станций. Летом токсическое действие воды на водоросли и ракообразных сопоставимо по интенсивности и локализации, наиболее токсичными для водорослей и рачков были одни и те же станции, главным образом, в Бугазском лимане. Наиболее токсичной была вода на станции 4 (к северу от впадения р. Кубанка в лиман).

Биотестирование воды из реки Кубанка, впадающей в Кизилташский лиман, показало отсутствие токсичности, поэтому токсичность воды в районе станции 4, очевидно, не связана с речным стоком. В осенний период вода в лиманах была практически нетоксична как для одноклеточных водорослей (сценедесмус), так и для ракообразных (дафния) (Климова и др., 2011).

Для выявления возможного источника токсичности воды для гидробионтов были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена для токсичности и концентраций загрязняющих веществ. Поскольку выше была показана зависимость и токсичности, и концентрации веществ от сезона, то корреляции вычисляли отдельно для весны и лета, для водорослей и ракообразных. Весной для водорослей обнаружены значимые корреляции токсичности с концентрацией в воде железа и нефтепродуктов (коэффициенты 0,73 и 0,73 соответственно при $p < 0,05$). Также довольно высокий коэффициент корреляции получен для кадмия (0,67), но его статистическая значимость ниже ($p = 0,069$). Летом не обнаружено значимых корреляций содержания в воде исследованных веществ

Таблица 2. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях Кизилташских лиманов в 2011 г., мкг/л

Вещество	Период наблюдения	Содержание в донных отложениях	Норматив*	
			экологический	санации
Cu	Май	1,90 – 30,75	36,0	190,0
	Июль	4,99 – 28,21		
	Сентябрь	4,66 – 27,98		
Mn	Май	90,81 – 1128,66	1500,0** (валовая форма)	
	Июль	258,46 – 1562,35		
	Сентябрь	80,60 – 1338,52		
Fe (общее)	Май	2716,26 – 22671,79	Не установлен	
	Июль	2698,09 – 17131,31		
	Сентябрь	7185,88 – 27729,50		
Cd	Май	0,01 – 0,21	0,8	12,0
	Июль	0,04 – 0,25		
	Сентябрь	0,03 – 0,15		
Ni	Май	1,11 – 44,76	35,0	210,0
	Июль	5,44 – 31,79		
	Сентябрь	8,22 – 35,37		
Zn	Май	4,84 – 77,43	140,0	720,0
	Июль	11,16 – 75,20		
	Сентябрь	11,52 – 78,09		
Pb	Май	0,90 – 14,03	85,0	530,0
	Июль	2,00 – 16,71		
	Сентябрь	3,44 – 20,43		
Co	Май	0,60 – 14,16	5,0** (только подвижные формы)	
	Июль	1,84 – 10,09		
	Сентябрь	2,47 – 11,86		
Нефтепродукты	Май	6,00 – 24,00	50,0***	
	Июль	3,00 – 13,00		
	Сентябрь	—		

Примечание. *Принятый в Нидерландах для донных отложений и почв; **в соответствии с МУ 2.1.7.730-99; ***природный биогенный уровень углеводородов (Немировская, 2008).

и токсичности воды для водорослей или ракообразных. на фитопланктонных (феодактилум) и зоопланктонных (артемия) тест-организмах —

Результаты биотестирования донных отложений — водных вытяжек из донных отложений Кизилташских лиманов представлены на рис. 10. Биотестирование донных отложений выявило токсическое действие, глав-

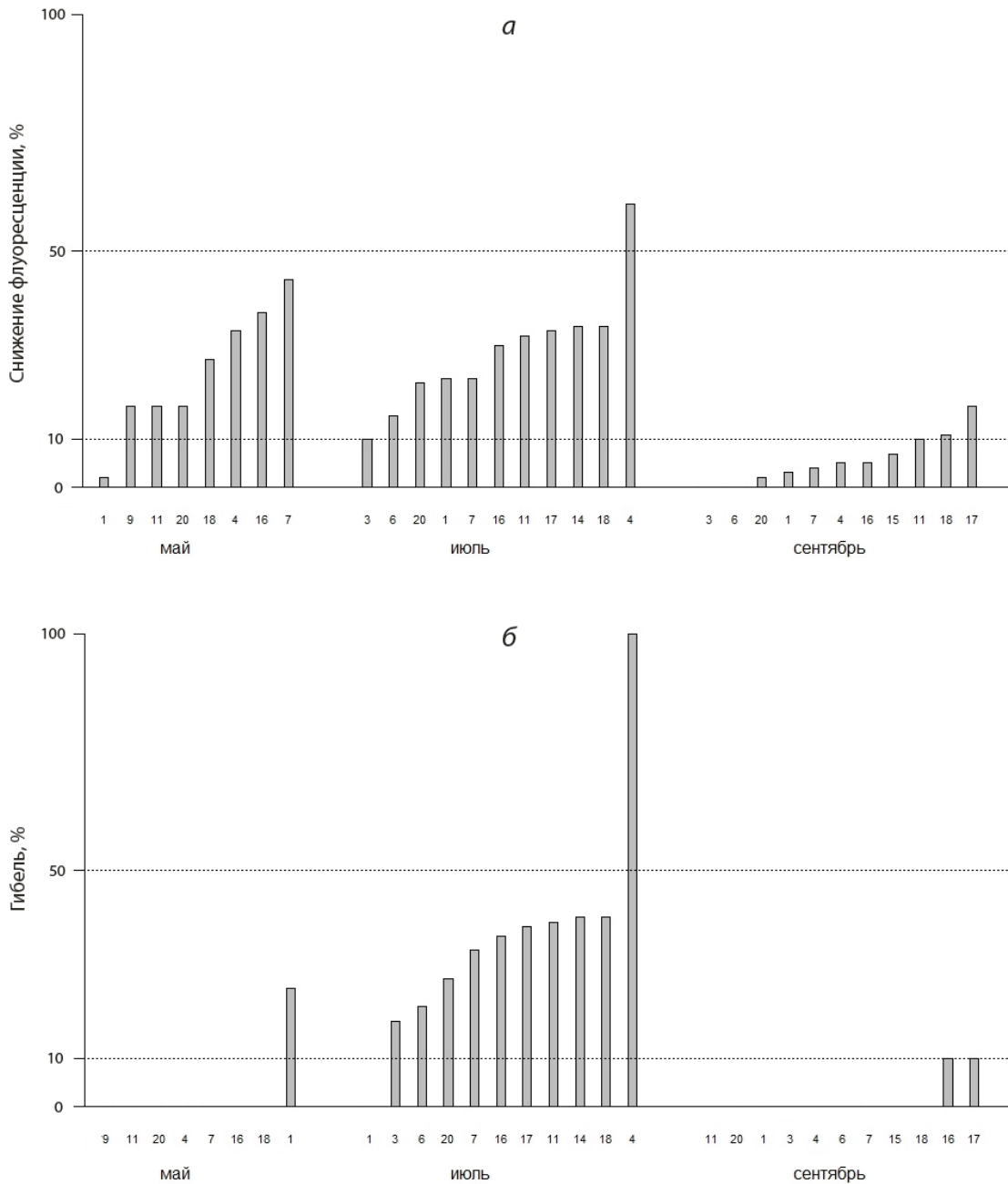


Рис. 9. Снижение флуоресценции одноклеточных водорослей *Phaeodactylum tricornutum* (а) и гибель рачков *Artemia salina* (б) в воде Кизилташских лиманов, 1–20 — станции.

ным образом, на одноклеточные водоросли, для ракообразных токсичность отмечена на меньшем числе станций. Наибольшая токсичность донных отложений для водорослей отмечена весной и летом, осенью большинство проб было нетоксично. Для ракообразных большинство проб было нетоксично на протяжении всего периода наблюдений.

При разбавлении водных вытяжек донных отложений в 2–10 раз проба не оказывала токсического действия на тест-организмы. Снижение токсичности водных вытяжек донных отложений при разведении в 2–10 раз до нетоксичного уровня показывает, что донные отложения (как депо загрязняющих веществ) не содержат высокотоксичных

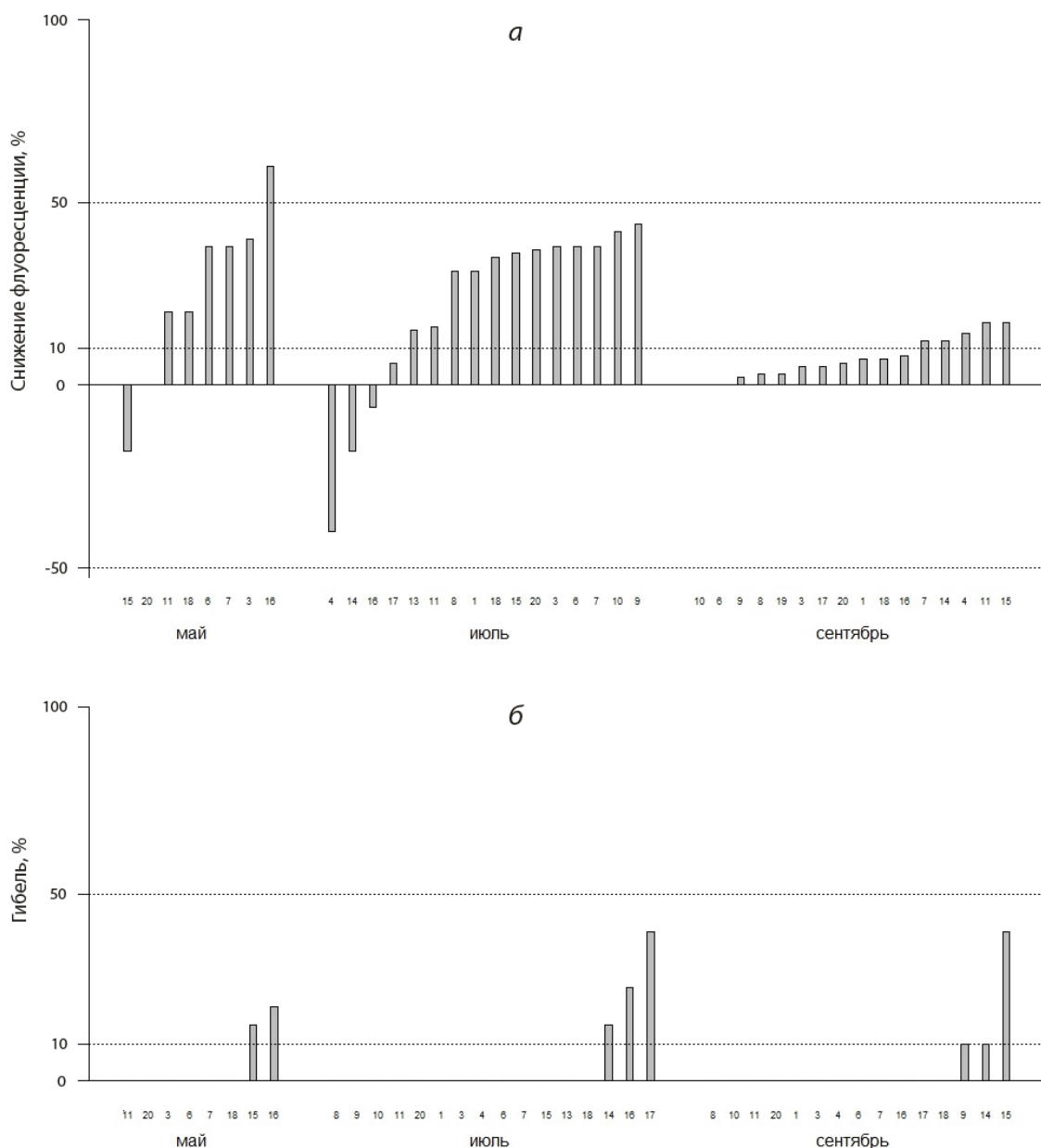


Рис. 10. Снижение флуоресценции одноклеточных водорослей *Phaeodactylum tricornutum* (а) и гибель рачков *Artemia salina* (б) в водных вытяжках из донных отложений Кизилташских лиманов, 1–20 — станции.

и стабильных антропогенных загрязняющих веществ. Значимых корреляций токсичности с исследованными загрязняющими веществами не обнаружено.

Таким образом, за исследованный период в Кизилташских лиманах в значительном числе проб была отмечена токсичность воды и донных отложений. Наибольшую

токсичность воды и донных отложений наблюдали в летний период, весной она была несколько меньше, осенью вода и донные отложения были практически нетоксичны. Отмечена тенденция (и для воды, и для донных отложений) большей чувствительности одноклеточных водорослей по сравнению с ракообразными, что выражалось в наличии

реакции водорослей в тех пробах, где гибели ракообразных не было.

Среди преимуществ фитопланктона как тест-объекта при обследовании больших акваторий отмечают высокую чувствительность реагирования на изменение качества среды, а также специфический тип реагирования: подавление физиологической активности в присутствии больших количеств токсикантов и стимуляцию под влиянием их малых концентраций или других факторов среды — биогенных элементов, органики и т.д. (Соколова, Старцева, 1994).

Ни одно из исследованных загрязняющих веществ не являлось единственным (или главным) источником токсичности. В некоторых случаях тенденция изменения токсичности во времени совпадала с изменением концентраций некоторых веществ (нефтепродуктов и фенолов), для которых было отмечено превышение нормативов, при этом корреляции между токсичностью и концентрацией вещества были достаточно высоки.

При отсутствии подобной корреляции также нельзя исключить вклад вещества в интегральный токсический эффект по следующим причинам:

— низкий коэффициент корреляции может наблюдаться при нелинейной связи между концентрацией и токсическим эффектом;

— аддитивное действие нескольких загрязняющих веществ, концентрация каждого из которых не превышает ПДК, может создать токсический эффект даже при краткосрочном воздействии.

Кроме того, токсический эффект может быть обусловлен иными факторами, не учтенными в данном исследовании, как биогенного, так и антропогенного происхождения. Так, например, в работе не исследовали содержание в воде поверхностно-активных веществ, которые наряду с металлами и нефтепродуктами являются основными компонентами антропогенного загрязнения. Также токсическое действие могут вызывать веще-

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в моллюсках *Rapana thomasiana*, мкг/л

Вещество	Весна	Лето	Осень	ПДК
Cu	$21,480 \pm 4,434$ $8,997 \pm 2,375$	$42,490 \pm 23,492$ $12,440 \pm 1,036$	$58,253 \pm 32,350$ $14,057 \pm 2,667$	30,0**
Mn	$2,950 \pm 0,540$ $2,880 \pm 0,679$	$3,991 \pm 0,763$ $1,844 \pm 0,313$	$3,141 \pm 1,296$ $3,104 \pm 0,812$	—
Fe	$74,656 \pm 22,511$ $45,335 \pm 5,327$	$49,392 \pm 7,172$ $29,494 \pm 7,589$	$128,695 \pm 28,320$ $59,034 \pm 13,545$	—
Cd	$0,635 \pm 0,910$ $0,153 \pm 0,061$	$3,299 \pm 0,263$ $0,155 \pm 0,061$	$5,303 \pm 2,341$ $0,260 \pm 0,041$	2,0*
Ni	$1,029 \pm 0,373$ $0,253 \pm 0,095$	$7,681 \pm 3,750$ $0,298 \pm 0,107$	$1,261 \pm 0,225$ $0,446 \pm 0,074$	—
Zn	$34,028 \pm 6,886$ $15,726 \pm 1,002$	$69,078 \pm 11,883$ $15,656 \pm 2,443$	$54,482 \pm 23,604$ $13,888 \pm 1,590$	200,0**
Pb	$0,438 \pm 0,027$ $0,079 \pm 0,016$	$0,035 \pm 0,010$ $0,022 \pm 0,007$	$0,010 \pm 0,006$ $0,022 \pm 0,007$	10,0*
Co	$0,438 \pm 0,209$ $0,118 \pm 0,050$	$0,407 \pm 0,181$ $0,072 \pm 0,060$	$0,550 \pm 0,284$ $0,176 \pm 0,103$	—

Примечание. *СанПиН 2.3.2.1078-01; **СанПиН 42-12-4089-86. Над чертой — содержание в печени, под чертой — в мышце. Полуужирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК, «—» — норматив не установлен.

ства биогенного происхождения, например продукты разложения органического вещества, которые особенно интенсивно образуются при высокой температуре воды в летний период.

Содержание тяжелых металлов в тканях бентосных организмов (брюхоногого моллюска рапана). Среднее содержание тяжелых металлов в мышцах и печени брюхоногого моллюска рапана — типичного представителя донных беспозвоночных в исследованной акватории — представлено в табл. 3. Полученные концентрации сравнивали с санитарно-гигиеническими нормативами.

Анализ показал, что средние концентрации исследованных металлов не превышают допустимые уровни содержания токсичных элементов в мышцах изученных моллюсков по тем элементам, для которых утверждены санитарно-гигиенические нормативы. В печени моллюсков содержание тяжелых металлов выше, чем в мышцах, поскольку она является органом, который выполняет барьерные функции в организме и, следовательно, является аккумулятором загрязняющих веществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Солевой режим наряду с термическим определяет биологическую продуктивность водоемов. Более того, соленость лиманов является в конечном счете интегральным показателем всех определяющих ее факторов (соотношение проточности морской и пресной воды, ветрового и термического режимов, осадков, испарения). В связи с регулярными колебаниями гидрологических параметров лиманов (глубины, солености, температуры и др.) состав и структура встречающихся в них гидробионтов постоянно меняются.

Интенсивное развитие макрофитов на большей части площади акватории Кизилташских лиманов не только служит источником детрита (основного объекта рациона кефалевых рыб) и биогенных веществ, но

и является причиной возникновения заморных участков.

Несмотря на высокий уровень концентрации биогенных веществ в воде, Кизилташские лиманы характеризуются слабой интенсивностью развития планктонных организмов (как фито-, так и зоопланктона), их состав и структура подвержены значительным колебаниям. При этом незначительные запасы зоопланктона подвержены постоянному трофическому прессингу со стороны большого количества зоопланктофагов.

Значительная численность и биомасса бентосных форм при снижении видового разнообразия является, видимо, следствием критического сокращения популяции камбалы-гlossы *Platichthys flesus luscus* (одного из основных аборигенных видов), важнейшим компонентом питания которой являются моллюски, ракообразные и черви.

Полученные результаты показали, что по содержанию загрязняющих веществ среда обитания гидробионтов в Кизилташских лиманах в целом соответствует рыбохозяйственным и экологическим нормативам. По интегральному показателю качества среды — токсичности для тест-организмов — выявлено ухудшение среды обитания летом по сравнению с весной, когда токсичность была несколько меньше, и осенью, когда вода и донные отложения практически нетоксичны. По-видимому, обнаруженная токсичность в данном случае не связана с антропогенным загрязнением и свидетельствует об ухудшении качества воды в результате естественных процессов в водоеме (рост микроорганизмов, разложение органики). Тем не менее нельзя исключить суммарное токсическое воздействие на гидробионтов загрязняющих веществ, концентрация каждого из которых не превышает рыбохозяйственный норматив, а также воздействие иных веществ, не исследованных в данной работе. Таким образом, биотестирование как интегральный показатель качества среды обитания гидробионтов является необходимым компонентом мониторинга рыбохозяйственных водоемов наряду с химическим анализом. При поступле-

нии в водоем большого количества веществ антропогенного происхождения с помощью биотестирования могут быть обнаружены эффекты взаимодействия загрязняющих веществ в водоеме, в том числе в условиях их относительно низкого содержания (в пределах рыбохозяйственных нормативов).

По результатам исследований группы Кизилташских лиманов можно охарактеризовать как незагрязненные при достаточно высокой антропогенной нагрузке в исследуемом районе. При увеличении нагрузки возможно изменение полученных показателей в сторону ухудшения эколого-токсикологического состояния исследованных экосистем.

Приведенные средние данные по содержанию веществ в воде, донных отложениях и гидробионтах (брюхоногий моллюск рапана) в мае—октябре 2011 г. являются фоновыми для района исследований и находятся в пределах естественных природных колебаний.

Наличие полученных фоновых данных позволит в дальнейшем отследить изменение эколого-токсикологической обстановки в ходе проведения экологического мониторинга при увеличении хозяйственной нагрузки на исследованные экосистемы (строительство порта и других объектов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Стандартинформ, 2010. 122 с.

ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ, 2010. 32 с.

ГОСТ Р 53886-2010 (ИСО 14669:1999). Вода. Методы определения токсичности по выживаемости морских ракообразных. М.: Стандартинформ, 2012. 31 с.

ГОСТ Р 53910-2010 (ИСО 10253:2006). Вода. Методы определения токсичности по замедлению роста морских одноклеточных водорослей *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin и *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. М.: Стандартинформ, 2011. 37 с.

Демьянко В.Ф. Организация товарных рыбоводных хозяйств по пастбищному выращиванию кефали-пиленгаса в лиманах Черноморского побережья // Тез. докл. Междунар. симп. «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре». Краснодар: КрасНИРХ, 1996. С. 115.

Климова Е.С., Соколова С.А., Старцева А.И. Исследование воды и донных отложений прибрежных черноморских экосистем методом биотестирования // Матер. II науч.-практ. конф. «Современные проблемы и перспективы рыбохозяйственного комплекса». М.: Изд-во ВНИРО, 2011. С. 283—286.

Кузьмина К.А., Храмова А.М., Широков Д.А., Медянкина М.В. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций тяжелых металлов в воде и донных отложениях группы Кизилташских лиманов (Краснодарский край) в 2011 году // Инженер. изыскания. 2012. № 11. С. 62—69.

Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Сб. науч.-метод. работ / Под редакцией С.П. Воловика, И.Г. Корпачевой. Краснодар: АзНИИРХ, 2005. 351 с.

МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. М.: Минздрав России, 1999. 25 с.

Немировская И.А. Нефтяные углеводороды в океане // Природа. 2008. № 3. С. 17—27.

Никитина Т.А. Проблемы комплексного использования Кизилташских лиманов // Фундамент. исследования. 2006. № 11. С. 48—50.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах

водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 257 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». М.: Госком. РФ по охране окруж. среды, 1998. 17 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.140-98. Методика выполнения измерений массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, сурьмы, хрома в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. М.: Госком. РФ по охране окруж. среды, 1998. 58 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.182-02. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фенолов в пробах питьевых, природных и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». М.: НПФ «Люмекс», 2010. 29 с.

РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. Л.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.

РД 52.10.556-95. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. М.: Гидрометеиздат, 1996. 49 с.

Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИ; НИА-Природа, 2002. 118 с.

СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М.: Минздрав России, 2002. 168 с.

СанПиН 42-123-4089-86. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. М.: Минздрав СССР, 1986. 15 с.

Соколова С.А., Старцева А.И. Эко-токсикологические исследования в Двинском заливе Белого моря // Комплексные исследования экосистемы Белого моря. М.: ВНИРО, 1994. 123 с.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE KIZILTASHSKY ESTUARIES IN 2011

© 2016 y. M. V. Medyankina, T. A. Samoylova, E. S. Dmitrieva, O. V. Sergeeva, A. M. Khramtsova, K. A. Kuzmina, A. V. Kashirin, N. A. Rudakova

Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

The paper summarizes the results of chemical, eco-toxicological and hydrobiological investigation of the Kiziltashsky estuaries, made in 2011 in the framework of an integrated environmental monitoring of the Black Sea coastal ecosystems. The composition and structure of the phytoplankton and zooplankton the Kiziltashsky estuaries are subject to significant seasonal variations. The high abundance and biomass of benthic forms were mentioned at a relatively low species diversity. The level of the pollutants in the different components of the ecosystem Kiziltashsky estuaries are generally consistent with fisheries and environmental protection standards. These definitions can be taken as a baseline for the exploration area, they are within the natural environmental fluctuations. The results can be used for planning of ecological monitoring with increasing anthropogenic load on the investigated ecosystem.

Keywords: Kiziltashsky estuaries, coastal ecosystems, ecological monitoring.