



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДОЕМОВ ПРИ РАЗВИТИИ РЫБОВОДСТВА

Подписано к изготовлению 25.11.2016.
1 CD-R, 1,3 Мб. Тираж 100 экз.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33

<http://petsu.ru>
Тел. (8142) 71-10-01

Изготовлено в Издательстве ПетрГУ
185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33

<http://press.petsu.ru/UNIPRESS/UNIPRESS.html>
Тел./факс (8142) 78-15-40
nvrahomova@yandex.ru

ISBN: 978-5-8021-3059-9



Петрозаводск
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДОЕМОВ ПРИ РАЗВИТИИ РЫБОВОДСТВА

*Учебное электронное пособие
для студентов вузов*

Петрозаводск
Издательство ПетрГУ
2016

УДК 639
ББК 47.28
Э40

Издается в рамках реализации комплекса мероприятий
Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012—2016 гг.

А в т о р ы:

А. Е. Курицын, И. М. Дзюбук, С. А. Ефремов, Т. А. Макарова

Р е ц е н з е н т ы:

Э. В. Ивантер, член-корреспондент РАН,
доктор биологических наук, профессор;

О. В. Мамонтова, кандидат биологических наук, доцент

Экологическая безопасность водоемов при развитии рыбовод-
Э40 **ства** : учебное электронное пособие для студентов вузов / А. Е. Кури-
цын, И. М. Дзюбук, С. А. Ефремов, Т. А. Макарова ; М-во образования
и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение
высш. образования Петрозавод. гос. ун-т. — Электрон. дан. (1,3 Мб). —
Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2016. — 1 электрон. опт. диск
(CD-R) ; 12 см. — Систем. требования : PC, MAC с процессором Intel
1,3 ГГц и выше ; Windows, MAC OSX ; 256 Мб ; видеосистема : разреше-
ние экрана 800×600 и выше ; графический ускоритель (опционально) ;
мышь или другое аналогичное устройство. — Загл. с этикетки диска.

ISBN 978-5-8021-3059-9

Учебное пособие разработано на основе анализа многолетних материалов
и обобщения современных литературных сведений о качестве водной среды,
состоянии гидробионтов и водных экосистем.

Предназначено для студентов эколого-биологического и агротехническо-
го факультетов по направлениям подготовки «Биология», «Экология и при-
родопользование», «Водные биоресурсы и аквакультура», «Рыбоводство».
Оно может быть использовано преподавателями смежных дисциплин других
факультетов и специалистами рыбоводных хозяйств.

УДК 639
ББК 47.28

ISBN 978-5-8021-3059-9

© Курицын А. Е., Дзюбук И. М.,
Ефремов С. А., Макарова Т. А., 2016
© Петрозаводский государственный
университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Критерии оценки водной среды.....	6
Источники антропогенного загрязнения водоемов.....	12
Ответные реакции рыб на антропогенное загрязнение водной среды.....	15
Влияние садкового рыбоводства на водные экосистемы	19
Мероприятия по улучшению экологического состояния водоемов	24
Заключение.....	27
Основные понятия.....	28
Список рекомендуемой литературы	29

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в связи с продолжающимся ростом численности населения на планете, происходит усиленное использование имеющихся природных ресурсов, следовательно, и увеличение антропогенной нагрузки на окружающую природную среду. Не теряют актуальности такие экологические проблемы водных экосистем, как загрязнение, эвтрофикация, аккумуляция тяжелых металлов, угроза радиоактивного воздействия и др. Количество относительно чистых водоемов снижается, а многолетние загрязнения приводят к трансформации и деградации водных экосистем.

Российская Федерация имеет богатейший водный потенциал. Так, рыбохозяйственный фонд внутренних водоемов России включает 22,5 млн га озер, 4,3 млн водохранилищ, 0,96 млн сельскохозяйственных водоемов комплексного назначения и 523 тыс. км рек. Сибирский, Северо-Западный и Уральский федеральные округа располагают наибольшим фондом рыбохозяйствования [Киселев с соавт., 2008].

Основу водных ресурсов Северо-Западного федерального округа составляют водоемы Республики Карелия: 23 тыс. рек и 61,1 тыс. озер. Крупные озерно-речные системы комплексно используются многими отраслями хозяйствования (энергетика, промышленность, лесное и сельское хозяйство, транспорт и т. д.), что негативно отражается на состоянии водной среды. При этом интересы многих водопользователей, как правило, не согласуются с задачами и методами ведения рационального рыбного хозяйства.

Влияние различных источников загрязнения на водоемы Карелии в настоящее время остается на высоком уровне. В связи с этим вопросы экологической безопасности водоемов являются актуальными и требуют своевременных решений.

При использовании водных ресурсов особенно важно понимать экологическую оправданность их эксплуатации и проводить экологическую оценку любого рода деятельности. Понятие «экологическая безопасность» предполагает создание условий, при которых риск негативных воздействий минимален и исключаются отдаленные последствия влияния вредных веществ для будущих поколений.

Необходима разработка мероприятий и осуществление мер по снижению загрязнения водной среды. Большое значение имеет и ранняя диагностика экологического состояния водных экосистем. С этой целью перспективно осуществление биоэкоотоксикологического мониторинга, что предполагает использование различных методов качественной оценки водоемов, определения уровня загрязнения природных вод, токсикологического контроля качества рыбной продукции и т. д. [Перевозников с соавт., 1999].

Комплексные исследования влияния техногенных загрязнений на природную среду включают решение вопросов их оценки, специфики механизмов и характера воздействий; определение степени проявления токсичности для живых организмов; выявление критических уровней загрязняющих веществ в экосистемах.

В учебном пособии представлены научные материалы о категориях качества водной среды и критериях ее оценки. Обобщены представления о влиянии различных источников загрязнения водных масс на рыб. Рассмотрено действие промышленных стоков, нефтепродуктов, тяжелых металлов, пестицидов на рыб. Дана оценка возможных отрицательных воздействий рыбоводных хозяйств на экосистемы водоемов. Также приведен комплекс мер по повышению экологической безопасности водоемов в условиях разнотипного антропогенного влияния.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОДНОЙ СРЕДЫ

При изучении влияния различного рода загрязнителей на водные экосистемы необходимо учитывать предельные значения гидрохимических параметров, которые показывают подверженность водоема экологическому риску. По химическому составу водной среды, согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 «Показатели состояния и правила токсации рыбохозяйственных водных объектов», водоемы подразделяются на шесть категорий чистоты. При этом величины гидрохимических показателей варьируют в довольно широком диапазоне (табл. 1). По совокупности физико-химических характеристик водоемы имеют различную степень трофности (табл. 2).

Для рационального и безопасного использования водоснабжения необходимы знания основ гидрохимии. Химия водных масс включает определение химического состава водной среды по глубинам водоема, сезонным и суточным колебаниям показателей, определяется комплекс минеральных и органических веществ, главные ионы (хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные, карбонатные, натрия, калия, кальция, магния), растворенные газы (кислород, азот, двуокись углерода, сероводород и др.), биогенные элементы (соединения азота, фосфора, кремния, железа), микроэлементы (соединения всех остальных химических элементов), органические вещества. Кроме перечисленных параметров, природные воды обладают качественными характеристиками (жесткость, щелочность, окисляемость).

Различают следующие категории водоемов:

- высокого качества (олигоумозные и олиготрофные водные объекты);
- хорошего качества (мезоумозные и мезополиумозные, олиго- и мезотрофные водные объекты);
- удовлетворительного качества (водные объекты с величиной рН от 5,5 до 6,2, а также эвтрофные);
- низкого качества (водные объекты с кислой реакцией рН ниже 5,5 и полиумозные);
- категория загрязненных водоемов (водные объекты, в которых наблюдается превышение химических показателей выше нормативных параметров).

Таблица 1

Химический состав водной среды разных категорий чистоты

Показатели	Чистые воды		Загрязненные воды			Грязные воды	
	ксеро-пробность	олигоса-пробность	бетамезоса-пробность	альфамезоса-пробность	полиса-пробность	гиперса-пробность	
Растворенный кислород, % насыщ.	95—100	80—110	60—125	30—150	0—200	0	
Прозрачность воды по диску Секки, м	не менее 0,3	не менее 2,0	не менее 1,0	не менее 0,5	не менее 0,1	менее 0,1	
БПК ₃ , мгО ₂ /л	0—0,5	0,6—1,0	1,1—2,0	2,1—3,0	3,1—10,0	более 10	
БПК ₂₀ , мгО ₂ /л	0—1,0	1,1—2,0	2,1—3,0	3,1—4,0	4,1—15,0	более 15	
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	0—7,0	7,1—10,0	10,1—20,0	20,1—40,0	40,1—80,0	более 80	
Аммоний, мг/л	0—0,05	0,06—0,10	0,11—0,50	0,51—1,0	1,01—3,0	более 3	
Нитриты, мг/л	0—0,001	0,002—0,04	0,05—0,08	0,09—1,5	1,6—3,0	более 3	
Нитраты, мг/л	0,05—5,0	5,1—10,1	10,1—40,0	40,1—80,0	80,1—150,0	более 150	
Фосфаты, мг/л	до 0,005	0,006—0,03	0,04—0,10	0,11—0,30	0,31—0,60	более 0,6	
Сероводород, мг/л	0,0	0,0	0,0	0,0	до 0,1	более 0,1	

Классификация степени трофности водоемов

Показатель	Степень трофности					эвтрофные
	дистрофные	ультраолиго- трофные	олиготрофные	мезотрофные		
БПК ₅ , мг/л	0,0—0,4	0,4—2,3	2,3—3,3	3,3—5,5	>5,5	
Растворенный кислород	50—65	65—95	95—105	50—155	<50 — >155	
Аммонийный (NH ₄ ⁺), мг/л	< 0,001	0,001—0,025	0,025—0,15	0,15—0,60	> 0,60	
Нитриты (NO ₂ ⁻), мг/л	< 0,001	0,001—0,010	0,010—0,015	0,015—0,06	> 0,06	
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/л	< 0,001	0,001—0,010	0,010—0,20	0,20—0,30	> 0,30	
Сумма минеральных форм азота (N), мг/л	< 0,003	0,003—0,05	0,050—0,35	0,35—0,95	> 0,95	
Минеральный фосфор (PO ₄ ³⁻), мг/л	< 0,001	0,001—0,010	0,010—0,030	0,030—0,25	> 0,25	
Кремний (SiO ₃ ²⁻), мг/л	< 0,001	0,001—0,05	0,05—0,30	0,30—0,65	> 0,65	

Подробно химический состав природных вод, их классификация, принципы и порядок отбора проб воды из водных объектов, а также методы определения химических параметров даны в специальном учебном пособии [Горохов, Марченко, 2013].

Для характеристики качества водных систем в основном используются гидрохимические показатели. Однако с помощью гидрохимических методов невозможно оценить процесс трансформации загрязняющих веществ в водной среде, взаимодействие между токсикантами и, следовательно, нельзя дать общую оценку уровня загрязнения и возможного ущерба. Суммарную качественную оценку уровню загрязнения водной экосистемы получают, используя методы биотестирования. Биотест количественно и качественно характеризует состояние среды, обеспечивающее нормальные условия развития организмов и их воспроизводство в естественной среде.

Оценку эколого-токсикологического состояния водной среды в настоящее время выполняют по методике, предложенной ВНИРО, с использованием в качестве тест-объекта представителя планктонных ракообразных — дафний (*Daphnia magna*). Подробное описание исследования токсичности воды методом биотестирования на дафниях (принцип, возможности и область применения метода, характеристика *Daphnia magna*, ее культивирование, методика постановки и проведения опытов, принцип оценки уровня токсичности исследуемой воды) представлены в учебном пособии Л. П. Рыжкова, Н. В. Артемьевой (2013). В настоящее время дафниевый тест остается одним из объективных методов оценки качества водной среды.

При характеристике экологического состояния водоемов важна оценка всех звеньев трофической цепи: бактерио-, фито-, зоопланктона, бентоса и рыб. С применением различных методов исследуются такие показатели, как видовой состав, численность, биомасса, продукция и др. Значимость подобных исследований велика, поскольку некоторые виды являются индикаторами эвтрофикации водоема. По соотношению численности разных групп возможно рассчитать индекс сапробности, интегральный показатель экологической чистоты водоемов. Очень важен такой анализ в рамках мониторинговых исследований, так как он дает возможность оценить динамику показателей, определить наметившиеся тенденции изменения параметров и прогнозировать дальнейшее развитие водной

экосистемы. Кроме того, он создает возможности реального планирования развития водохозяйственной деятельности, определения путей развития, организации водопользования, выявления возможностей рекреационного использования водоемов и других мероприятий.

Известно, что наличие в воде загрязняющих веществ в первую очередь влияет на поведенческие реакции более высших форм организации гидробионтов. Среди водных животных наиболее сложное и разнообразное поведение свойственно рыбам. Именно у рыб центральная нервная система, организующая поведение, хорошо развита. Поэтому в качестве биоиндикаторов чистоты и экологического состояния водоемов вполне оправдано использование в качестве тест-объектов рыб.

Обнаружены разноплановые ответные реакции организмов рыб на антропогенное воздействие. Они особенно чувствительны к загрязнению водной среды и способны к кумуляции токсических веществ в своих тканях и внутренних органах. Влияние загрязняющих веществ на рыб зависит от температуры, pH среды, кислородных условий, присутствия токсикантов другой природы и др. Характер ответных реакций организма рыб на комплекс загрязняющих веществ включает морфологические патологии различных органов, изменение физиологических и биохимических процессов. При острых и хронических отравлениях у рыб могут происходить структурно-функциональные нарушения состояния всех систем жизнедеятельности. Отмечаются повреждения наружных покровов, внутренних органов (печени, почек, жаберного эпителия и др.), изменяется обмен веществ, параметры крови и т. д. Например, было выявлено, что в зоне влияния теплых вод ТЭС, в результате действия двух факторов: повышенной температуры и присутствия токсичных веществ, отмечалось снижение численности молоди большинства видов рыб, происходила ежегодная их гибель, появлялись уродливые взрослые особи [Турунина, 1989]. Ф. М. Соколова с соавт. (1989) показали, что гистологические изменения в гонадах рыб могут иметь различный характер в зависимости от концентрации детергентов.

В ходе исследований накоплен большой материал по общим закономерностям влияния токсических веществ на рыб, взаимосвязи токсического эффекта и концентрации токсического вещества и времени контакта, чувствительности и устойчивости рыб

к токсикантам. Доказано существование видовых, возрастных и индивидуальных особенностей токсикорезистентности и зависимости ее от многих абиотических факторов.

Наиболее целесообразно в качестве видов-индикаторов выбирать рыб из региона исследований. Существует несколько критериев выбора биоиндикаторов среди рыб: пространственно-временной показатель стабильности вида в месте наблюдения, относительная и абсолютная величина встречаемости в пробе, встречаемость на разных этапах развития, значимость вида в промысле [Путинцев, 1990].

С учетом разнопланового характера загрязнений водоемов, обосновано наличие многочисленных ответных реакций организмов рыб, а соответственно, и биологических тестов.

Таким образом, экспертные оценки экологического состояния водной среды должны быть подтверждены комплексом разноплановых исследований. Следует отметить, что экологические и экономические проблемы необходимо решать во взаимосвязи, что обеспечит экологическое равновесие, предотвращение негативных последствий от производств любого уровня.

Источники антропогенного загрязнения водоемов

Состояние водной среды зависит от трех основных групп факторов: абиотических (факторы неживой природы), биотических (факторы живой природы) и антропогенных (влияние человека).

Воздействие человека на природу носит глобальный характер, преобразуя и уничтожая целые сообщества живых существ и места их обитания. Антропогенное влияние выражается не только в полном нарушении биоты, но и опосредованно, воздействуя на биоразнообразие флористических и фаунистических комплексов, популяционную структуру видов, трофические связи, доминантные виды в ценозах, продуктивность и биомассу различных сообществ. Часто, несмотря на отсутствие внешних проявлений, у организмов, обитающих в условиях токсических сбросов предприятий, отмечаются серьезные изменения в функционировании тканей и органов. Как следствие, наблюдается смена долгоживущих видов короткоцикловыми, снижение биомассы доминантов, уменьшение репродуктивной способности организмов из-за недостатка и даже исчезновения кормовых объектов, нарушения в трофических связях биоты, т. е. происходят специфические антропогенные сукцессии биоценоза. Антропогенное эвтрофирование водных экосистем сопровождается резким увеличением в них биогенных веществ — азота и фосфора. Их величина и качественные характеристики зависят от геохимического состава водосборных бассейнов и объемов стока поверхностных вод.

Изменение качества водных экосистем в результате хозяйственной деятельности человека происходит от сбросов сточных вод промышленных предприятий, стоков ливневых вод с полей, стоков отходов животноводческих ферм, сточных вод населенных пунктов, судоходного транспорта, также от атмосферных осадков, содержащих вредные примеси (растворимые, коллоидные, механические). Возможно загрязнение водоемов от деятельности рыбоводных хозяйств. Основными загрязнителями водоемов являются нефтепродукты, ионы тяжелых металлов, радионуклиды, различные соли, органические соединения, СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества), бактериальные и биологические объекты.

Влияние загрязняющих веществ на водную среду и населяющие ее организмы проявляется по-разному и зависит от свойств загрязнителя. Под действием одних веществ в водоемах происходят нарушения и изменения физико-химических и биологических свойств воды, ее состава, кислородного режима и других показателей, необходимых для жизни гидробионтов. Другие вещества действуют непосредственно на водные организмы. Есть вещества, которые влияют и на водную среду, и на организмы. Существуют токсические вещества, которые вступают в реакции с компонентами природных вод, образуя более токсические соединения.

С рыбохозяйственных позиций наиболее токсическими и опасными являются ионы тяжелых металлов, радионуклиды и хлорсодержащие соединения. При их оценке следует учитывать способности к накоплению в пищевых цепях, их устойчивость в воде и отдаленные токсические нарушения.

По степени токсичности, кумулятивных свойств и стабильности в водной среде загрязняющие вещества подразделяются на четыре класса:

- Первый класс — чрезвычайно опасные загрязняющие вещества, способные накапливаться в рыбе и других промысловых гидробионтах; представлены исключительно ксенобиотиками — веществами антропогенного происхождения, не имеющими аналогов в природе. Для них характерны высокая или сверхвысокая материальная кумуляция и стабильность вещества и вредных продуктов его распада — более 180 суток.
- Второй класс — высокоопасные загрязняющие вещества с умеренной кумуляцией. Стабильность вещества и его опасных метаболитов — 60—180 суток при 20 °С. Для северных районов, где преобладают низкие температуры воды, эти вещества лимитируются по первому классу.
- Третий класс — опасные загрязняющие вещества, лимитируемые в основном по токсикологическому, рыбохозяйственному ПДК. Вещества могут быть как ксенобиотиками, так и природного происхождения. Стабильность вещества — менее 60 суток при 20 °С.
- Четвертый класс — умеренно опасные загрязняющие вещества, не обладающие кумулятивными свойствами. Представлены

частично ксенобиотиками, в значительной степени веществами природного происхождения. Стабильность их менее 10 суток при 20 °С. В этом же классе выделяется подкласс 4 КЭ (экологические загрязняющие вещества), т. е. вещества, входящие в состав органики сапробного типа, компоненты минерализации природных вод, биогены и другие, требующие дифференцированного лимитирования, с учетом типа рыбохозяйственного водного объекта.

Большое влияние на водоемы оказывают отходы промышленного производства. Элементами, входящими в состав сточных и обработанных вод, являются аммиак, фенол, цианид, кадмий, никель, хром, ртуть, свинец, другие тяжелые металлы и вещества, а также их смеси. В зависимости от профиля промышленного производства и его активности, содержание определенного токсического компонента в промышленных стоках различно. Каждый элемент промышленных стоков и их совокупность оказывают токсическое влияние на биологические организмы. Наиболее сильное токсическое воздействие испытывает водная среда, примыкающая к крупным промышленным центрам.

В Карелии в течение 2013 года объем загрязненных сточных вод, сброшенных без очистки в открытые водоприемники, увеличился с 12,44 до 77,4 млн м³. Увеличение сброса загрязненных сточных вод связано с ростом числа водопользователей и отсутствием у них соответствующих очистных сооружений [Госдоклад, 2014].

До настоящего времени в шести районных центрах республики (Кемь, Беломорск, Медвежьегорск, Пудож, Лоухи и Калевала) канализационные очистные сооружения отсутствуют.

ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ РЫБ НА АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Комплексное и интенсивное промышленное загрязнение снижает качество воды в озерах и отражается на видовом составе, численности и биомассе гидробионтов. Так, в городе Сортавала (Карелия) значительная часть сточных вод сбрасывается в Ладожское озеро без предварительной очистки. Это приводит к снижению качества воды, изменению видового состава и биомассы бентосных организмов, значительному уменьшению интенсивности воспроизводства рыб, сокращению их возрастной структуры и поколения, и следовательно, снижению уловов рыбы на водоеме. Ладожское озеро меняет статус лососево- сигавого на более низкий рыбозоохозяйственный уровень — корюшково-ряпушковый [Алхименко, Румянцев, 2010]. Хотя были приняты срочные меры по стабилизации состояния озера, экологическая ситуация улучшается медленно. Снижение концентрации фосфора в Ладожском озере произошло только при двукратном и более снижении объема промышленного и сельскохозяйственного производства на водозаборе.

Похожие ситуации наблюдаются на всех водоемах с промышленным загрязнением, в том числе крупных. Для Онежского озера и Выгозера также были отмечены критические экологические периоды из-за значительных выбросов промышленных стоков целлюлозно-бумажных комбинатов.

Вредное воздействие на рыб оказывают фенолы, как из-за непосредственной токсичности, так и в силу их высокой окисляемости, приводящей к снижению концентрации растворенного кислорода в воде. Кроме того, они придают мясу рыбы неприятный привкус. Токсичность фенолов возрастает с уменьшением содержания растворенного в воде кислорода, снижением температуры и увеличением минерализации воды.

Неионизированный аммиак вреден для рыб. Его воздействие увеличивается с возрастанием температуры воды и повышением рН. Для рыб, особенно лососевых, опасны даже относительно невысокие концентрации соединений железа в воде. Токсичны соли хлорноватистой кислоты и хлораминов.

Сероводород также опасен, поскольку сульфиды, проникая в организм рыбы, уменьшают способность тканей усваивать кислород.

Течение токсикозов у рыб бывает острое и хроническое. Первое связано с залповым поступлением загрязняющих веществ, например, сточных вод при аварийных ситуациях, с поверхностным стоком после ливней и др. Обычно оно протекает в короткие сроки и сопровождается гибелью рыб. Хроническое течение связано с долговременным поступлением загрязняющих веществ в малых концентрациях. Нередки случаи обострения хронического токсикоза в результате действия стресс-факторов. В естественных водоемах токсикозы имеют хроническое течение и вызывают гибель наиболее пораженных и ослабленных рыб.

При загрязнении водной акватории нефтью и продуктами нефтедобычи в организме рыб происходят патологические изменения, в некоторых случаях необратимые. Нефть обладает высоким эмбриотоксическим эффектом, отмечены уродства эмбрионов (водянка, образование полостей в желточном мешке, искривление хорды). Также происходит задержка выклева, отставание в развитии личинок, снижение выживаемости рыб на разных этапах развития [Исуюев с соавт., 2002]. У рыб, подверженных такому воздействию, происходят метаболические изменения, нарушается гомеостаз, снижается реактивность и защитные функции организма. В результате уменьшается продуктивность, увеличивается процент поражения инфекционными и инвазионными заболеваниями [Новоселов, 2002; Горбунова с соавт., 2003].

Нефть вызывает угнетение белкового обмена у рыб, последовательное снижение доли альбуминов и повышение гамма-глобулинов во фракциях тканевых белков. Продукты нефтедобычи оказывают негативное воздействие на гематологические показатели, которые выражаются признаками анемии и лейкопении. Воздействие сырой нефти вызывает деструктивные процессы в мембранах эритроцитов, приводящих к их преждевременному старению, а также нарушение функции печени [Велибекова с соавт., 2009; Габибов с соавт., 2009]. При длительном воздействии нефтепродуктов рыба истощается и болеет [Коваленко, 2004].

К наиболее опасным веществам загрязнения водной среды относятся тяжелые металлы, которые оказывают токсическое влияние

на рыб. Тяжелыми считаются металлы с плотностью более 8 г/см^3 — это свинец, медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, сурьма, висмут, ртуть. В прикладных исследованиях к тяжелым металлам чаще всего добавляют платину, серебро, железо, золото, марганец.

Главным образом обращают на себя внимание металлы, которые в наибольшей степени загрязняют водную среду из-за использования в промышленности в значительных объемах. Эту группу металлов составляют свинец, ртуть, кадмий, цинк, кобальт, никель, медь, олово, ванадий, марганец, хром и молибден. Их биохимическая активность и эффективность накопления в органах и тканях рыб высокая.

Действие тяжелых металлов угнетает рост рыб, нарушает функции печени и ферментов метаболизма, вызывает нефрокальцитоз, сколиоз и анемию. На коже, челюстях, жаберных крышках, плавниках и глазах могут появляться язвы. Отмечается складчатость и ассиметричное развитие гонад. Повышенное содержание тяжелых металлов может инициировать заболевания в организме рыб, приводит к нарушению гомеостаза на всех уровнях — от молекулярного до организменного. Наблюдается увеличение индексов внутренних органов, особенно печени, кишечника, изменение количественного состава белков сыворотки крови.

Установлено, что в зонах влияния сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов происходит аккумуляция металлов у рыб. Например, в органах и тканях сигов Онежского озера металлы распределяются следующим образом:

- жабры: Zn, Sr, Mn, Al, Cu, Cr, Ni, Cd, Co;
- мышцы: Zn, Cu, Al, Sr, Mn, Ni, Cr, Co, Cd;
- печень: Zn, Cu, Al, Sr, Mn, Cd, Ni, Cr, Co;
- почки: Zn, Al, Sr, Cu, Mn, Cd, Co, Ni, Cr;
- скелет: Sr, Zn, Al, Mn, Cu, Cd, Ni, Cr, Co.

Содержание меди в жабрах в 2,7 раза, а в печени в 1,9 превышала установленные ПДК [Баженова, Георгиев, 2003]. Цинк может накапливаться в чешуе и плавниках [Галатова, 2007]. Изменения, происходящие в крови рыб под влиянием сульфата меди, носят выраженный патологический характер. Например, у лосося отмечается повсеместная агглютинация эритроцитов, встречаются скопления эритроцитов, у которых не прослеживаются границы между отдельными

клетками. Считается, что подобная агглютинация представляет собой необратимый процесс, так как сопровождается одновременно гибелью клеток.

Основными источниками загрязнения окружающей среды в сельском хозяйстве являются комплексы и фермы крупного рогатого скота, свиноводческие фермы, зверофермы и птичники. Отрицательное влияние аграрного комплекса на экологическую ситуацию водоемов связано со стоками с загрязненных территорий, нарушениями хранения и применения удобрений и пестицидов, недостатками строительства и эксплуатации навозохранилищ.

При загрязнении водоемов пестицидами у рыб возникают различные патологии. В настоящее время в перечень разрешенных к применению пестицидов вошло 600 наименований, которые выпускаются в виде тысяч препаративных форм. Тем не менее, несмотря на большую историю применения этих пестицидов в сельском хозяйстве, обнаружение их в тканях рыб является сигналом для актуализации мониторинговых наблюдений с целью прекращения отрицательных влияний на количественные и качественные параметры экосистем водоемов.

Зафиксировано патологическое воздействие хлорорганических пестицидов на эндокринные биомаркеры у рыб. При загрязнении водоема пестицидами у рыб возникают патологические изменения жабр, печени и почек. В жабрах обнаружены расширение капилляров, гиперемия и отслоение эпителия вторичных жаберных лепестков, их укорачивание, слияние или некроз; усиливается выделение слизи. В печени отмечается вакуолизация и некроз гепатоцитов, расширение синусоидов, очаги геморрагии. Поражение почек связано с вакуолизацией и гипертрофией эпителия извитых канальцев или их деструкции [Ortiz..., 2003].

Гербициды разной химической структуры вызывают патоморфологию эмбриогенеза рыб, отрицательно влияют на утилизацию липидов желточного мешка, изменяют нормативную картину крови и биохимию тканей разновозрастных групп рыб. Токсическое действие гербицидов различных поколений для рыб порой необратимо.

Следует отметить, что в настоящее время в связи с новым укладом сельскохозяйственного производства источников загрязнения окружающей среды стало меньше, однако все они в той или иной степени представляют опасность для водоемов.

Влияние садкового рыбоводства на водные экосистемы

При организации и эксплуатации рыбохозяйственных предприятий, в том числе садковых хозяйств, необходимо понимать, что в случае несоблюдения экологических требований могут возникнуть ситуации негативного воздействия на водоем.

Садковые хозяйства размещают как в пресных водоемах, так и в морских заливах и фьордах. Для этой цели, как правило, выбирают акватории с высоким качеством воды, где содержание загрязняющих веществ ниже предельнодопустимых концентраций (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов. Однако деятельность садковых хозяйств предполагает значительную концентрацию рыбы на ограниченном пространстве, что может оказать сильное модифицирующее воздействие на экосистему водоема. При интенсивном выращивании рыбы загрязнения изменяют продуктивность, следовательно, биотические и абиотические характеристики водоема. Даже менее интенсивные методы рыборазведения при определенных условиях также воздействуют на водоем, вызывая увеличение биомассы водорослей, при которой снижается кормовая база.

Загрязнения от функционирования садковых хозяйств подразделяются на твердые и растворимые. К первой группе относятся непотребленные корма, слизь рыбы и ее чешуя, фекалии. Ко второй — продукты метаболизма рыб (в основном аммоний, мочевина), растворимые органические вещества корма, общий фосфор, углерод, азот и др., антибиотики, применяемые для профилактики и лечения выращиваемой рыбы.

Исследований в области количественной оценки поступающих от садков загрязнений и их влияния на экосистемы водоемов недостаточно как в отечественной рыбоводной практике, так и за рубежом.

Следует выделить работу Я. Ауре и А. Стингебрандта (1990) по количественной оценке влияния рыбоводных хозяйств на эвтрофикацию фьордов, где обобщены результаты полевых исследований и моделирования для 30 фьордов Норвегии. В работе отмечено, что хозяйства по-разному влияют на состояние среды в мелких и глубоких водоемах. Мелкие фьорды хорошо промываются, но под влиянием

хозяйств здесь увеличивается биомасса фитопланктона и снижается прозрачность воды. В глубоких водоемах, кроме этого, еще и существенно снижается содержание кислорода в придонном слое. Загрязнение воды происходит непосредственно от рыб и от кормов. От выращиваемых рыб в воду поступают растворимые азот и фосфор в соотношении 7 : 1. Биогены хорошо сбалансированы с точки зрения потребностей фитопланктона. Определено, что в пересчете на 1 т продукции выделяется в растворимой форме 40 кг азота и 6 кг фосфора.

В местах установки садковых хозяйств может изменяться химический состав воды. Накопление осадков вызывает усиленное потребление кислорода и развитие анаэробных бактерий, увеличение содержания углерода, сульфидов, азотистых соединений и образование летучих газов типа метана. Однако считается, что эти изменения достаточно локальны и часто не отмечаются на расстоянии более 30 м от места расположения хозяйств.

В районах водоемов с недостаточной проточностью воды отмечаются локальные, но порой значительные изменения бентофауны и перераспределение зоопланктонного сообщества за счет увеличения доли хищников.

Во внутренних пресноводных водоемах объемы садкового выращивания рыбы меньше, чем в морских условиях, но имеющиеся данные свидетельствуют о быстрых темпах изменения условий водной среды при нарушениях технологии выращивания рыбы. При больших объемах выращивания возникающие загрязнения изменяют биотические и абиотические параметры водоема, а менее интенсивные методы вызывают увеличение биомассы водорослей и снижение общей продуктивности. Загрязнение воды увеличивает заболеваемость и даже смертность рыб, а цветение водорослей снижает скорость роста рыб и обедняет кормовую базу водоема. Увеличение содержания в воде органического вещества в 2—3 раза по сравнению с исходным приводит к неустойчивому газовому режиму. Обогащение водоема с садковыми хозяйствами органическим веществом за счет используемых кормов и продуктов метаболизма приводит к интенсивному осаждению тяжелых металлов.

Загрязнения, вымываемые из осадков, воздействуют как на выращиваемую рыбу, так и на местное рыбное население, на котором

размещено садковое хозяйство. Загрязнение от выращиваемой рыбы отражается на темпе ее роста, выживаемости, способствует возникновению инвазий, также изменяет пищевые качества продукции. В слабопроточных водоемах с повышенным содержанием органического вещества возможны заморы или токсикозы рыбы в садках летом в безветренную погоду или зимой в подледный период.

Имеются данные о влиянии отходов органического вещества от садкового рыбоводства на состав, численность живых организмов, их физиологическую активность и биологическую структуру водных сообществ. Первым звеном, которое быстро реагирует на увеличение концентрации биохимического активного органического вещества, является микрофлора водоема, активность которой определяет интенсивность процессов самоочищения водоемов. В сбалансированной экосистеме существует равновесие между процессами образования и распада органического вещества. Загрязнение водоема органическим веществом и биогенами нарушает этот баланс, что приводит к дисбалансу развития бактериальной популяции. При умеренном поступлении органического вещества в водоем происходит стимуляция роста бактерий и соответственно возрастает их численность. По мере накопления органического вещества в озере и под влиянием антропогенного воздействия активность гетеротрофных бактерий не возрастает столь значительно, как их масса. В итоге дисбаланс приводит к накоплению органического вещества, дефициту кислорода и другим последствиям эвтрофикации.

Следующая проблема загрязнения водоемов связана с обогащением их биогенами, сопровождающимся массовым развитием водорослей. Одной из первых реакций на антропогенный пресс является изменение видового состава мелких быстро размножающихся форм фитопланктона. Фотосинтез и деструкция органического вещества могут служить индикаторами степени загрязнения вод. На загрязненных участках фотосинтез замедляется, что связано с ухудшением условий в водоеме для фотосинтезирующих организмов. Деструкция незначительно возрастает из-за большого количества микроорганизмов, поступающих с органической смесью, или вследствие активного разложения органического вещества сточных вод.

Изменение в функционировании первых трофических звеньев водной экосистемы под влиянием антропогенной нагрузки отражается

и на последующих звеньях — зоопланктоне и зообентосе. По мере накопления органических осадков резко снижается численность видов бентофауны. Воздействие садковых хозяйств на естественные популяции рыб в значительной мере зависит от уровня развития эвтрофикационных процессов. При небольших поступлениях органического вещества от отходов стимулируется темп роста местной рыбы как за счет увеличения общей биопродукции экосистемы, так и за счет использования местной рыбой корма, вымываемого из садков. Известны случаи, когда в небольших слабопроточных водоемах при завышенном объеме выращиваемой рыбы в садках, т. е. при грубых нарушениях технологии выращивания рыбопродукции, за 1—3 года происходили глубокие изменения, вплоть до гибели местных рыб от тотального дефицита кислорода.

Использование лекарственных препаратов при выращивании рыбы в садках не исключает возможности их попадания в водоем с фекалиями рыб. Известно, что лекарственные препараты разлагаются бактериями, причем, например, фуразолидон разлагается более активно, чем окситетрациклин. Период полураспада фуразолидона в отложениях под осадками при температуре 4 °С равен 18 часам. Окситетрациклин более устойчив в отложениях от рыбноводных хозяйств и часто встречается у местной рыбы. Это весьма вредно для здоровья человека как потребителя продукции такого качества.

Для экосистемы водоемов с садковыми хозяйствами наибольшую опасность в плане эвтрофикации представляют фосфор и азот. Масштабы загрязнения (в том числе фосфорного) водоемов напрямую зависят от объемов выращиваемой рыбы. В связи с этим большое значение имеет определение для каждого конкретного водоема экологически оптимальных объемов выращивания рыбы, с учетом допустимых фосфорных нагрузок на водоем и дополнительного поступления фосфора от функционирования садковых хозяйств.

Методики расчетов допустимых объемов выращивания радужной форели на водоемах разноплановые. Из широко применяемых методов оценки экологической нагрузки на водную среду можно назвать метод Бевериджа (1987) и способ, предложенный С. П. Китаевым с соавторами (2006). Но чаще всего в хозяйствах оценка биогенной нагрузки на водные экосистемы проводится по общему расходу

кормов, количеству поступающего с пищей фосфора или азота, усвояемости кормов и т. д. При расчетах используются количественные оценки соотношения между биогенной нагрузкой и трофическим уровнем водоема [Beveridge, 1987].

Фосфорная нагрузка на водоем от функционирования форелевого хозяйства зависит от прироста биомассы рыбы по месяцам, затрат корма на единицу прироста форели, количества несъеденного корма, количества фекалий, содержания фосфора в рыбе, корме и фекалиях. При этом следует учитывать поступление фосфора с прилегающего водосбора, из основного водотока, с сельскохозяйственных полей, от животноводческих ферм и населенных пунктов.

Определение и оценка критической фосфорной нагрузки и поступления фосфора от садковых хозяйств позволяют правильно рассчитать объем выращивания форели, предотвратить или снизить загрязнение используемых для этой цели водоемов.

Мероприятия по улучшению экологического состояния водоемов

Для улучшения экологического состояния водоемов, подверженных антропогенному воздействию, необходимы мероприятия, соответствующие уровню загрязнения водной среды. По степени выявленных у рыбного населения отклонений от нормативных параметров уровень загрязнения водной среды может быть нарастающим, предупреждающим, критическим и наиболее опасным.

Одним из основных реально действующих механизмов повышения эффективности охраны окружающей среды и использования природных ресурсов в Республике Карелия является формирование нормативно-правовой базы природоохранной деятельности и контроль за ее выполнением. Отметим, что ежегодно возрастают инвестиции в природоохранные мероприятия. Опыт развитых стран (Япония, Германия, Великобритания, США) свидетельствует, что для улучшения экологической ситуации необходимо выделение на охрану окружающей среды 4—5 % бюджетных расходов, а для поддержания ее на стабильном уровне — не менее 3 %. В Карелии удельный вес природоохранных инвестиций обычно не превышает 2 %.

Большой вклад в экологическую безопасность водоемов вносит государственный контроль за использованием и охраной водных объектов, за ограничением негативного техногенного воздействия, контроль за соблюдением требований, предъявляемых к хранению пестицидов и агрохимикатов на сельскохозяйственных предприятиях. Экологизация технологий производства — мероприятия по предотвращению отрицательного воздействия производственных процессов на природную среду — предполагает осуществление разработок малоотходных (ресурсосберегающих) технологий, дающих на выходе минимум загрязняющих веществ.

С целью сохранения и оздоровления экологической системы Онежского и Ладожского озер, необходимо принятие федерального закона (по примеру озера Байкал), который сбалансировал бы решение социально-экономических задач в водозаборах бассейнов этих крупных озер.

Защиту водоемов от эвтрофикации, в результате попадания в них органических загрязнений от садковых хозяйств, нужно проводить в нескольких направлениях. Следует определять оптимальные, экологически обоснованные объемы выращивания рыбопродукции в зависимости от условий на конкретных водоемах. Разработанные рыбоводно-биологические обоснования на организацию садковых хозяйств должны проходить независимую экспертизу.

Известен способ сбора твердых отходов с помощью ловушек, устанавливаемых под садками. Это уменьшит загрязнение окружающей среды и улучшит санитарное состояние водоемов.

Для сокращения фосфорного загрязнения от рыбоводных хозяйств возможно применение ряда мер. Эффективность способов снижения фосфорного загрязнения отражена в табл. 3.

Таблица 3

Способы снижения фосфорного загрязнения водоемов

Направление	Метод	Цена	Снижение загрязнения, %
Уменьшение количества пыли в кормах	— совершенствование технологии кормопроизводства;	++	2
	— просеивание кормов в хозяйствах	+	
Снижение потерь корма	— усовершенствование кормушек;	++	10
	— правильное размещение садков;	+	
	— корректировка норм кормления	+	
Снижение доли фосфора в отходах	— снижение доли фосфора в кормах;	++	30
	— использование высокоперевариваемых кормов	+	30
Удаление отходов, содержащих фосфор из водоемов	— захоронение мертвой рыбы;	+	5
	— откачка твердых отходов со дна водоема	+++	10

Примечание. Оценка стоимости мероприятий — от дешевой (+) до дорогой (+++).

Деятельность рыбоводного хозяйства допустима с экологической точки зрения, если концентрация поступлений биогенных, органических и взвешенных веществ не превышают ПДК для данной категории водоемов в контрольном створе, находящемся не далее чем в 500 м от места сброса. Для оценки и анализа воздействия работы садковых комплексов на окружающую среду необходимо постоянно контролировать основные составляющие конкретного производства: плотность размещения рыбы в садках, темпы ее роста, учет количества использованных кормов и их поедаемости. Для характеристики изменения качества вод контролируются общесанитарные показатели загрязнений: БПК₅ и БПК полное, минеральный фосфор, аммонийный азот, кислород, pH.

Большое значение в настоящее время имеет также сокращение сбросов путем создания замкнутых и закрытых систем производства рыбной продукции и наличие эффективных биотехнологий переработки органических отходов в экологически безопасный биогумус.

Таким образом, экологическая безопасность водоемов, в которых размещаются садковые хозяйства, тесно связана с конверсией корма, зависящей от применяемой технологии выращивания рыбы, характеристики используемых кормов и режима кормления, продукционных свойств рыбы. Кроме того, нагрузка на водоем напрямую связана с объемами производства рыбопродукции. В целом разработка моделей влияния рыбоводных хозяйств на окружающую среду весьма актуальна, так как без точных оценок экологического риска садковое рыбоводство активно развиваться не может. Для этого требуется многолетний мониторинг состояния водной среды и гидробионтов в районах размещения садковых хозяйств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие садкового рыбоводства — одно из перспективных направлений развития рыбохозяйственной отрасли на северо-западе России. Однако и оно имеет свои недостатки, основным из которых является загрязнение водной среды остатками корма, экскрементами и конечными продуктами метаболизма, объемы которых могут достигать 30—40 % от выпускаемой рыбной продукции. Особенно это опасно для пресноводных водоемов, имеющих ограниченные акватории и сравнительно небольшой водообмен. Дополнительное поступление органических веществ от садкового рыбоводства в подобные экосистемы может привести к ускорению процессов эвтрофикации и изменению трофического статуса водоема.

В настоящее время воздействие садкового рыбоводства на водную среду в основном нейтрализуется за счет естественных процессов самоочищения и самовосстановления природных водоемов. В дальнейшем с ростом потребности в рыбной продукции соответственно возрастет и влияние рыбоводства на окружающую водную среду. Экологическая емкость водоемов может быть превышена, что приведет к нарушению нормального функционирования водных экосистем, и можно ожидать нарушения трофического статуса водоемов.

В связи с этим основные пути экологически безопасного развития садковой аквакультуры в пресных водоемах включают:

1. Правильный выбор водоемов для выращивания рыбы и объемов производимой продукции.
2. Четкое выполнение технологии выращивания рыбы.
3. Государственный контроль за использованием и охраной объектов аквакультуры.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Биогенные элементы — вещества, необходимые для существования живых организмов (кислород, углерод, азот, фосфор и др.). В воде они находятся в виде ионов и коллоидов.

Гидробионты — живые организмы, обитающие в водной оболочке Земли — гидросфере.

Гидрохимия — наука о химическом составе природных вод и закономерностях его изменения в зависимости от химических, физических и биологических процессов, протекающих в окружающей среде.

Садковое рыбоводство в естественных водоемах — получение молоди и выращивание разновозрастных групп рыб в садках, устанавливаемых в природных водоемах. Выращивание рыбы контролируется человеком.

Токсическое воздействие — изменения, выражающиеся в нарушении физико-химических и биологических свойств воды, ее состава, действующие на водные организмы.

Тяжелые металлы — металлы с плотностью более 8 г/см^3 . Значительное их содержание в водной среде токсично для водных организмов.

Экологическая безопасность — создание условий, при которых риск отрицательных воздействий сведен к минимуму.

Экосистема — взаимосвязанный природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания. Развитие экосистемы протекает за счет увеличения количества поступающей энергии, направленной на поддержание систем. Классическим примером экосистемы может быть озеро, все компоненты сообщества которого ограничены территориально и непрерывно связаны между собой сетью многих взаимодействий.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Алхименко, А. П. Проблемы охраны уникальных водных объектов (на примере проекта Федерального закона «Об охране Ладожского озера») / А. П. Алхименко, В. А. Румянцев // Современные проблемы и задачи рационального использования ресурсов Онежско-Ладожского и Беломорского водных бассейнов. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2010. — С. 8—14.

Баженова, О. С. Аккумуляция металлов у сига в зоне влияния сточных вод целлюлозно-бумажного комбината / О. С. Баженова, А. П. Георгиев // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера : тезисы докладов международной конференции. — Сыктывкар, 2003. — С. 11.

Велибекова, С. Р. Изучение устойчивости печеночной ткани у осетровых воздействию сырой нефти / С. Р. Велибекова, Э. К. Рустамов, Н. Г. Рагимова // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов : материалы 2-й научной конференции с участием стран СНГ. Петрозаводск, 11—14 сент. 2007. — Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2007. — С. 32.

Влияние сырой нефти на кислотную резистентность эритроцитов рыб / М. М. Габибов [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. — 2009. — № 1. — С. 24—27.

Горохов, А. В. Изучение химического состава природных вод : учебное пособие / А. В. Горохов, Л. П. Марченко. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. — 48 с.

Госдоклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2013 году. — Петрозаводск, 2014. — 300 с.

Горбунова, Г. С. Изменение гематологических показателей рыб при действии нефтепродуктов и отходов бурения / Г. С. Горбунова, Б. П. Костров, Н. В. Горбунова // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Материалы междунар. конф. Махачкала, 15—18 июля 2003. — Астрахань, 2003. — С. 64—66.

Исуев, А. Р. Некоторые показатели жизнедеятельности рыб при нефтяном загрязнении водной среды / А. Р. Исуев, М. М. Габибов, И. К. Курбанов // Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах. Материалы междунар. науч. конф. Москва, 27—29 мая 2002. — Москва, 2002. — С. 120.

Киселев, А. Ю. Перспектива развития рыбоводства во внутренних водоемах Российской Федерации / А. Ю. Киселев, А. А. Нестеренко, Н. Н. Головин // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2008. — № 2. — С. 5—11.

Китаев, С. П. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы / С. П. Китаев, Н. В. Ильмаст, О. П. Стерлигова. — Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2006. — 40 с.

Коваленко, В. Ф. Влияние нефтепродуктов на газообмен у сеголеток карпа / В. Ф. Коваленко // Гидробиологический журнал. — 2004. — № 5. — С. 65—70.

Новоселов, А. П. Воздействие нефтяного загрязнения реки Печоры на биологические показатели сиговых рыб / А. П. Новоселов // Материалы рыбохозяйственного исследования водоемов Европейского Севера : сб. науч. тр. — Архангельск, 2002. — С. 18—20.

Перевозников, М. А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах / М. А. Перевозников, Е. А. Богданова. — Санкт-Петербург : ГосНИОРХ, 1999. — 258 с.

Путинцев, А. И. Рыбы как компонент системы экологического нормирования / А. И. Путинцев // Методология экологического нормирования. Всесоюзная конф. — Харьков, 1990. — С. 125—127.

Рыжков, Л. П. Исследование токсичности воды методом биотестирования на дафниях : учебное пособие / Л. П. Рыжков, Н. В. Артемьева. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. — 25 с.

Соколина, Ф. М. Влияние детергентов на репродуктивную систему рыб / Ф. М. Соколина, С. А. Винокур, Н. Д. Мазманиди // Первая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии. Ч. II. — Рига, 1989. — С. 132—133.

Турунина, Н. В. Влияние сброса загрязненных вод на ихтиофауну / Н. В. Турунина // Первая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии. Ч. II. — Рига, 1989. — С. 162—163.

Aure, J. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fiords / J. Aure, A. Stigebrandt // Aquaculture. — 1990. — P. 135—156.

Ortiz, J. Histopathological changes induced by lindane in various organs of fishes / J. Ortiz, B. Gonzalez // Sc. mar. — 2003. — T. 67, № 1. — P. 53—61.

Beveridge, M. Cage aquaculture / M. Beveridge // Fishing news Books Ltd Farnham. — 1987. — 43 p.

Учебное электронное издание

Курицын Антон Евгеньевич
Дзюбук Ирина Михайловна
Ефремов Сергей Александрович
Макарова Татьяна Алексеевна

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДОЕМОВ ПРИ РАЗВИТИИ РЫБОВОДСТВА

*Учебное электронное пособие
для студентов вузов*

Редактор *Е. Е. Порывакина*
Оригинал-макет,
электронная версия *Ю. С. Марковой*

Подписано к изготовлению 25.11.2016.
1 CD-R. 1,3 Мб. Изд. № 305

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33
<http://petsru.ru>
Тел. (8142) 71-10-01

Изготовлено в Издательстве ПетрГУ
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33
<http://press.petsru.ru/UNIPRESS/UNIPRESS.html>
Тел./факс (8142) 78-15-40
nvrahomova@yandex.ru