

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Примак Е.А., Зуева Н.В.,  
Алексеев Д.К., Воякина Е.Ю.

# НОРМИРОВАНИЕ И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

*Учебное пособие для высших учебных заведений*

Санкт-Петербург  
РГГМУ  
2020

**УДК 502.51**  
**ББК 20.18**  
**П76**

*Утверждено Методической комиссией экологического факультета РГГМУ*

*Рецензенты:* В.В. Дмитриев, д-р. геогр. наук, профессор кафедры гидрологии суши института наук о Земле СПбГУ; Н.В. Румянцева, канд. тех. наук, доцент Высшей школы техносферной безопасности ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

**Примак Е.А., Зуева Н.В., Алексеев Д.К., Воякина Е.Ю.**

**П76** Нормирование и снижение негативного воздействия на водные экосистемы: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 116 с.

В пособии рассмотрены организационно-правовые основы нормирования в области охраны окружающей среды, виды экологических нормативов, представлены общеэкологический подход к нормированию качества воды и оценка качества природных вод, рассмотрена методика разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов в водные объекты. Особое внимание уделено методологическим и методическим основам нормирования природного и антропогенного воздействий на водные экосистемы.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по естественнонаучным и инженерным направлениям.

УДК 502.51  
ББК 20.18

**ISBN 978-5-86813-509-5**

© Коллектив авторов, 2020  
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2020

# Предисловие

«Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобой наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь.»

*Антуан де Сент-Экзюпери (роман «Планета людей»)*

На сегодняшний день состояние окружающей среды в Российской Федерации оценивается как неблагоприятное. Урбанизированные территории, где проживает 74 % населения, подвергаются существенному негативному воздействию, источниками которого являются объекты промышленности, энергетики и транспорта, а также капитального строительства. В городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения воздуха проживает 17,1 млн человек, что составляет 17 % всего городского населения страны.

Ситуация с качеством воды в водных объектах продолжает оставаться неблагоприятной, в первую очередь вследствие сбросов промышленных и бытовых сточных вод, поверхностных стоков вод с сельскохозяйственных угодий. Сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод является причиной загрязнения поверхностных и подземных вод, накопления в донных отложениях загрязняющих веществ, деградации водных экосистем. Это приводит к тому, что от 30 до 40 % населения регулярно пользуются водой, не соответствующей гигиеническим нормативам. Вследствие загрязнения питьевой воды химическими веществами и микроорганизмами увеличивается риск смертности (в среднем на 11 тыс. случаев ежегодно) и заболеваемости (в среднем на 3 млн случаев ежегодно).

Практически во всех регионах страны сохраняется тенденция к ухудшению состояния земель и почв. Основными негативными процессами, приводящими к их деградации, изменению среды обитания растений, животных и других организмов, являются водная и ветровая эрозия, заболачивание, подтопление земель, переувлажнение, засоление и осолонцевание почв. Более половины общей площади сельскохозяйственных угодий страны подвержено этим процессам.

В 2018 г. на территории Российской Федерации образовалось 7,27 млрд т отходов производства и потребления, из которых 53,9 млн т составили твердые коммунальные отходы. Ежегодно увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках,

что приводит к выводу продуктивных сельскохозяйственных угодий из оборота.

В связи с этим очевидно, что разнообразные последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды должны быть ограничены таким образом, чтобы природные (и природно-техногенные) системы могли справиться с этим воздействием. Для выработки оптимальных норм техногенных воздействий необходимо найти границы устойчивости природных и природно-техногенных систем и разработать систему требований (стандартов хозяйственной деятельности) для природопользователей (Хаустов, Редина, 2019).

В программу подготовки бакалавров-экологов включена учебная дисциплина «Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды». В рамках данной дисциплины рассматриваются теоретические и методические основы экологического нормирования, методы разработки экологических нормативов и оценки устойчивости природных экосистем, контроля и снижения выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, размещения отходов.

Настоящее пособие посвящено нормированию и снижению негативного воздействия на такую часть природной среды как водные экосистемы.

В пособии рассмотрены организационно-правовые основы нормирования в области охраны окружающей среды, виды экологических нормативов, представлены общеэкологический подход к нормированию качества воды и оценка качества природных вод, рассмотрена методика разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов в водные объекты. Особое внимание уделено методологическим и методическим основам нормирования природного и антропогенного воздействий на водные экосистемы.

**Важно понимать и помнить, что экологическое нормирование – основной экологический рычаг регулирования негативного воздействия человека на окружающую среду.**

Пособие написано при поддержке научного проекта РФФИ № 19-05-00683 А.

# **1. Организационно-правовые основы нормирования в области охраны окружающей среды**

## **1.1. Правовые основы в области охраны окружающей среды**

В российском законодательстве центральное место среди источников экологического права, обладая высшей юридической силой по отношению ко всем иным законодательным актам, занимает Конституция Российской Федерации. Важную роль играет конституционная норма ст. 42 о праве каждого на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением. Основы регулирования отношений в сфере охраны окружающей среды определяют статьи 9, 17, 36, 58, 67, 72 Конституции Российской Федерации.

10 января 2002 г. вступил в силу базовый Федеральный закон Российской Федерации № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», являющийся фактически основой российского законодательства. Помимо федеральных законов действует ряд указов Президента Российской Федерации и постановлений Правительства Российской Федерации, конкретизирующих их. На основе Конституции Российской Федерации и федеральных законов государственные органы власти субъектов Российской Федерации, а также органы местного самоуправления разрабатывают проекты и принимают на своем уровне соответствующие законы, другие правовые акты и административные нормативно-правовые документы соответствующего уровня.

К началу 2020 г. законодательная база Российской Федерации, регулирующая отношения в области природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, насчитывала 6 Кодексов и не менее 25 федеральных законов, не считая Конституции Российской Федерации, Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях и Уголовного кодекса Российской Федерации, в тексте которых также уделено внимание вопросам охраны окружающей среды.

*Перечень российских законов, действующих в сфере охраны природы и рационального природопользования, приведен в Приложении.*

По тематическим признакам природоохранные законы Российской Федерации можно объединить в следующие группы:

- 1) общие вопросы охраны окружающей среды;
- 2) экологический надзор и контроль, ответственность за экологические правонарушения;
- 3) обеспечение экологической безопасности населения и окружающей среды;
- 4) охрана атмосферного воздуха;
- 5) рациональное использование и охрана поверхностных вод;
- 6) отходы производства и потребления;
- 7) рациональное использование и охрана земель;
- 8) рациональное использование и охрана недр;
- 9) рациональное использование и охрана лесов;
- 10) рациональное использование и охрана биологических ресурсов;
- 11) особо охраняемые природные территории.

На протяжении всего периода с 1992 г. принимаются практически ежегодно нормативно-правовые акты в области природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

Всего же в текст сорока законодательных актов, перечисленных в Приложении, уже внесено более 150 изменений, из числа которых более 50 изменений внесены в течение 2015–2020 гг. Характерно, что основная часть внесенных изменений относилась к законам, регулирующим вопросы негативного воздействия на окружающую среду объектами и обращения с отходами производства и потребления.

Перманентная реформа системы органов государственной власти, в том числе и природоохранных, происходящая в России последние 25 лет, вызывает необходимость постоянно вносить соответствующие изменения в законодательство, исключая из него упоминания об упраздненных подразделениях и функциях и вводя взамен упоминания о новых подразделениях и об изменившихся функциях. Такие изменения постоянно происходят как на федеральном, так и на региональном уровнях. С момента подписания Федерального закона «Об охране окружающей среды» в январе 2002 г. и по июль 2019 г., то есть за семнадцать лет, изменения в него вносились сорок раз. По-видимому, в недалеком будущем следует ожидать

новых коррекций в тексте закона, что связано с изменением системы экологического надзора и контроля в России.

Законодательная база в области охраны окружающей среды и природопользования в Российской Федерации формируется Федеральным Собранием в составе Государственной Думы, имеющей в своей структуре Комитет по природным ресурсам, собственности и земельным отношениям и Комитет природопользованию и экологии, и Совета Федерации, в котором имеется Комитет по аграрно-продовольственной политике и природопользованию. Федеральные законы обсуждает и принимает именно Федеральное Собрание, а подписывает Президент Российской Федерации.

Президент Российской Федерации непосредственно принимает участие в процессах управления экологической безопасностью. Так, например, в 2017 г. был подписан Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».

Под экологической безопасностью понимается состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

В Указе Президента от 19.04.2017 № 176 дана оценка текущего состояния экологической безопасности. В настоящее время состояние окружающей среды на территории Российской Федерации, где сосредоточены большая часть населения страны, производственных мощностей и наиболее продуктивные сельскохозяйственные угодья (составляет около 15 % территории страны), оценивается, к сожалению, как неблагоприятное по экологическим параметрам.

Угрозы экологической безопасности сохраняются, несмотря на принимаемые меры по снижению уровней воздействия на окружающую среду химических, физических, биологических и иных факторов, по предотвращению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, включая аварийные ситуации на опасных производственных объектах, по адаптации отраслей экономики к неблагоприятным изменениям климата.

Окружающая среда в городах и на прилегающих к ним территориях, где проживает 74 % населения страны, подвергается существенному негативному воздействию, источниками которого являются объекты промышленности, энергетики и транспорта, а также объекты капитального строительства. В городах с высоким и очень

высоким уровнем загрязнения воздуха проживает 17,1 млн человек, что составляет 17 % городского населения страны.

Ситуация с качеством воды в водных объектах продолжает оставаться неблагоприятной, в первую очередь вследствие сбросов промышленных и бытовых сточных вод, поверхностных стоков вод с сельскохозяйственных угодий. Так, 19 % сточных вод сбрасывается в водные объекты без очистки, 70 % – недостаточно очищенными и только 11 % – очищенными до установленных нормативов допустимых сбросов. Сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод является причиной загрязнения поверхностных и подземных вод, накопления в донных отложениях загрязняющих веществ, деградации водных экосистем. Это приводит к тому, что от 30 до 40 % населения страны регулярно пользуются водой, не соответствующей гигиеническим нормативам. Вследствие загрязнения питьевой воды химическими веществами и микроорганизмами увеличивается риск смертности (в среднем на 11 тыс. случаев ежегодно) и заболеваемости населения (в среднем на 3 млн случаев ежегодно).

Практически во всех регионах страны сохраняется тенденция к ухудшению состояния земель и почв. Основными негативными процессами, приводящими к деградации земель, почв, изменению среды обитания растений, животных и других организмов, являются водная и ветровая эрозия, заболачивание, подтопление земель, переувлажнение, засоление и осолонцевание почв. Более половины общей площади сельскохозяйственных угодий страны подвержено этим процессам. Не выполняются в установленные сроки мероприятия по рекультивации земель, нарушенных при строительстве, а также при разработке месторождений полезных ископаемых. Общая площадь загрязненных земель, находящихся в обороте, составляет около 75 млн га. Площадь нарушенных земель, утративших свою хозяйственную ценность или оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, составляет более 1 млн га. Опустынивание земель в той или иной мере наблюдается в 27 субъектах Российской Федерации на территории площадью более 100 млн га.

К 2019 г. свыше 30 млрд т отходов производства и потребления накоплено в результате прошлой хозяйственной и иной деятельности. По итогам инвентаризации территорий выявлено 340 объектов накопленного вреда окружающей среде, являющихся источником потенциальной угрозы жизни и здоровью 17 млн человек. Вместе с этим, ежегодно образуется примерно 6 млрд т отходов



производства и потребления, из которых 60–65 млн т составляют твердые коммунальные отходы. Увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках, что приводит к выводу продуктивных сельскохозяйственных угодий из оборота. Около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов занимают территорию общей площадью примерно 4 млн га, и эта территория ежегодно увеличивается на 300–400 тыс. га.

Вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 г., аварии на производственном объединении «Маяк» в 1957 г., деятельности организаций ядерно-топливного цикла и организаций ядерного оружейного комплекса, а также локальных радиоактивных выпадений после проведения испытаний ядерного оружия сохраняется повышенное радиоактивное загрязнение территорий Российской Федерации.

Существенную опасность представляют разливы нефти и нефтепродуктов, приводящие к длительному негативному воздействию на окружающую среду в районах добычи нефти, транспортировки, перевалки и хранения нефти и нефтепродуктов, особенно в Арктической зоне Российской Федерации.

По данным государственной наблюдательной сети, на территории Российской Федерации за год регистрируется в среднем около 950 опасных гидрометеорологических явлений (наводнения, засуха, сильный ветер, сильные осадки и др.), наносящих значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. Такие явления зачастую становятся источником чрезвычайных ситуаций природного характера (в последние годы более 80 % случаев). По экспертным оценкам, материальный ущерб от опасных гидрометеорологических явлений в отдельные годы может достигать 1 % валового внутреннего продукта.

Наблюдаемые опасные геологические явления (землетрясения, вулканическая деятельность, оползни), гляциологические и геокриологические процессы (сходы лавин и ледников, разрушение вечной мерзлоты) наряду с лесными пожарами и опасными процессами биогенного характера (эпидемии, вызванные распространением природно-очаговых заболеваний, в том числе связанных с переносом возбудителей таких заболеваний мигрирующими животными) становятся источником чрезвычайных ситуаций природного характера, число пострадавших от которых ежегодно составляет 100–200 тыс. человек.

С каждым годом повышается уровень износа основных фондов опасных производственных объектов (более 60 %). Доля аварийных гидротехнических сооружений составляет около 5 %. В условиях отсутствия возможности глобальной модернизации экономики возрастает роль безопасной эксплуатации таких объектов, в том числе мелиоративных систем и гидротехнических сооружений.

Результатом неблагоприятной окружающей среды является ухудшение здоровья и повышение смертности населения, особенно той его части, которая проживает в промышленных центрах и вблизи производственных объектов.

По экспертным оценкам, ежегодно экономические потери, обусловленные ухудшением качества окружающей среды и связанными с ним экономическими факторами, без учета ущерба здоровью людей, составляют 4–6 % валового внутреннего продукта.

Настоящая Стратегия экологической безопасности Российской Федерации – документ стратегического планирования в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации, определяющий основные вызовы и угрозы экологической безопасности, цели, задачи и механизмы реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности.

Одним из основных механизмов реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности как раз являются нормирование и разрешительная деятельность в области охраны окружающей среды.

Согласно ст. 114 Конституции Российской Федерации «обеспечение проведения в Российской Федерации единой государственной политики в области экологии» возложено на Правительство Российской Федерации. На основании и во исполнение ст. 115 Конституции Российской Федерации, федеральных законов, указов Президента Российской Федерации Правительство Российской Федерации «издает постановления и распоряжения, обеспечивает их исполнение».

Деятельность органов государственной власти в Российской Федерации в области охраны окружающей среды и регулирования природопользования должна охватывать три главных направления:

- государственный экологический мониторинг,
- государственный экологический надзор;
- государственная экологическая экспертиза.

Государственный экологический мониторинг осуществляется в рамках единой системы государственного экологического мониторинга Российской Федерации, которая создана в целях обеспечения

охраны окружающей среды. В соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» под государственным экологическим мониторингом понимаются комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды. Стоит отметить, что основная цель экологического мониторинга заключается в создании информационной системы, позволяющей получать достоверные сведения о состоянии окружающей среды и ее изменениях в биотических и абиотических компонентах под действием естественных и антропогенных факторов. Постановлением Правительства Российской Федерации от 09.08.2013 № 681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)» утверждено «Положение о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)».

Основные задачи единой системы государственного экологического мониторинга окружающей среды заключаются в:

- регулярных наблюдениях за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, изменениями состояния окружающей среды;
- хранении, обработке (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;
- анализе полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;
- обеспечении органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды.

Государственный экологический мониторинг осуществляется федеральными органами исполнительной власти, органами государственной власти субъектов Российской Федерации в соответствии с их компетенцией, установленной законодательством Российской

Федерации, посредством создания и обеспечения функционирования наблюдательных сетей и информационных ресурсов в рамках подсистем единой системы государственного экологического мониторинга.

Организация экологического мониторинга базируется на трех основных принципах: комплексности, систематичности, унифицированности. На основе указанных принципов процесс построения системы экологического мониторинга должен включать следующие основные составляющие:

- обоснование объектов мониторинга и контролируемых параметров, формирование сети пунктов наблюдений;
- сбор, обработка и накопление информации;
- обработка информации в направлении анализа и оценки экологической ситуации, прогноза потенциальных воздействий намечаемой деятельности;
- использование полученной информации и результатов ее обработки в процессе принятия решений, относящихся к обоснованию намечаемой деятельности и ее выполнению;
- взаимодействие с другими системами мониторинга и источниками информации.

Информационная система экологического мониторинга является составной частью системы управления состоянием окружающей среды, поскольку информация о существующем состоянии окружающей среды и тенденциях его изменения – основа разработки природоохранной политики и планировании социально-экономического развития территорий.

Результаты оценки существующего и прогнозируемого состояния окружающей среды в свою очередь дают возможность уточнить требования к подсистеме наблюдений – это и составляет научное обоснование мониторинга, обоснование состава и структуры сети, режимов и методов наблюдений.

Проведение экологического мониторинга позволяет оценить не только состояние окружающей среды под воздействием природных факторов, но и выявить антропогенное воздействие на экологическую систему.

Контроль в области охраны окружающей среды представлен системой мер, направленных на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями требований, в том числе

нормативов и нормативных документов, федеральных норм и правил, в области охраны окружающей среды;

Основной целью экологического контроля является охрана окружающей среды путем предупреждения и устранения экологических правонарушений, обеспечение неукоснительной деятельности соответствующих субъектов эколого-правовых отношений по применению экологических предписаний.

Впервые экологический контроль, как вид государственного управления, появился в законодательстве в ст. 15 «Контроль за охраной природы» в законе РСФСР от 27.10.1960 «Об охране природы в РСФСР». Статья гласила: «Совету Министров РСФСР, Советам Министров АССР, исполнительным комитетам краевых, областных, районных, городских, поселковых и сельских Советов депутатов трудящихся, министерствам, ведомствам и совнархозам обеспечить контроль за соблюдением учреждениями, предприятиями, организациями, колхозами, совхозами и гражданами действующих законов по охране природы и за выполнением мероприятий по сохранению, восстановлению природных ресурсов». Однако, орган, специально уполномоченный для осуществления экологического контроля, образован не был, и функции контроля были определены не конкретно.

Только в начале 1988 г. был создан Государственный комитет РСФСР по охране природы, который просуществовал до июня 1990 г. В соответствии с решениями первого Съезда народных депутатов РСФСР о государственном суверенитете РСФСР и разграничении функций управления организациями на территории РСФСР Верховный Совет РСФСР принятием закона РСФСР от 14.07.1990 № 101-1 «О республиканских министерствах и государственных комитетах РСФСР» утвердил перечень республиканских министерств и государственных комитетов РСФСР. Постановлением Совета Министров РСФСР от 14.06.1991 № 326 было утверждено «Положение о Государственном комитете РСФСР по экологии и природопользованию». В то время было установлено, что в систему Государственного комитета РСФСР по экологии и природопользованию входят Государственная экологическая экспертиза и Государственная экологическая инспекция, положения о которых утверждаются также Советом Министров РСФСР. Для рассмотрения и подготовки решений по наиболее сложным комплексным эколого-экономическим проблемам при Государственной экологической экспертизе и ее органах на местах были созданы советы Государственной экологической экспертизы.

Постановлением Президиума Верховного Совета РСФСР от 30.07.1991 № 1617-I госкомитет был переименован в Министерство экологии и природопользования РСФСР. Но уже в конце 1991 г. Правительство страны начало подготовку к радикальной экономической реформе. Именно в это время Указом Президента РСФСР от 28.11.1991 № 242 для обеспечения стабильности системы органов государственной власти и управления в РСФСР путем упразднения и объединения Министерства экологии и природопользования РСФСР, Министерства лесного хозяйства РСФСР, Государственного комитета РСФСР по геологии и использованию недр и Комитета по водному хозяйству при Совете Министров РСФСР было создано Министерство экологии и природных ресурсов РСФСР.

19 декабря 1991 г. был принят разработанный Министерством закон РСФСР № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды». В нем экологическому контролю была придана особая важность и посвящен целый раздел (раздел X Экологический контроль), включающий шесть статей. Так, ст. 68 «Задачи экологического контроля» гласила: «1. Экологический контроль ставит своими задачами: наблюдение за состоянием окружающей природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности; проверку выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению окружающей природной среды, соблюдения требований природоохранительного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды. 2. Система экологического контроля состоит из государственной службы наблюдения за состоянием окружающей природной среды, государственного, производственного, общественного контроля». В ст. 70 было указано: «1. Государственный экологический контроль в Российской Федерации осуществляется Верховным Советом Российской Федерации, Верховными Советами республик в составе Российской Федерации, Правительством Российской Федерации, Советами Министров республик в составе Российской Федерации, Советами народных депутатов автономной области и автономных округов, краевыми, областными, местными Советами народных депутатов, а также специально уполномоченными на то государственными органами Российской Федерации и республик в составе Российской Федерации в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора».

Как видно из приведенной выдержки, в этом законе уже четко указаны задачи государственного экологического контроля и,

помимо органов исполнительной власти, определены специально уполномоченные органы Российской Федерации и республик в составе Российской Федерации для проведения двухуровневого государственного экологического контроля. Правда, объединены функции государственного экологического контроля и санитарно-эпидемиологического надзора, что приводило к их дублированию.

10 января 2002 г. был принят Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ, в котором дано определение экологическому контролю: «контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль) – система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды». Закон оставил двухуровневую систему осуществления государственного экологического контроля: федеральными органами исполнительной власти и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации. В нем приведены положения о том, что порядок государственного экологического контроля устанавливается Правительством Российской Федерации. Указано, что помимо государственного, в Российской Федерации осуществляется производственный, муниципальный и общественный контроль в области охраны окружающей среды.

18 августа 2011 г. вышла новая редакция Федерального закона «Об охране окружающей среды», где термин «государственный экологический контроль» заменен на термин «государственный экологический надзор», то есть понятие «контроль» укрупнено до понятия «надзор». Это означает, что природоохранные органы в настоящее время имеют возможность контролировать действия исполнительной власти в части природопользования и охраны окружающей среды. После введения новой редакции в федеральные законы, где есть статьи, посвященные государственному экологическому контролю, были внесены соответствующие изменения.

Под государственным экологическим надзором понимаются деятельность уполномоченных федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, направленная на предупреждение, выявление и пресечение нарушений органами государственной власти, органами местного самоуправления, а также юридическими лицами, их руководителями и иными должностными лицами, индивидуальными

предпринимателями, их уполномоченными представителями и гражданами требований, установленных в соответствии с международными договорами Российской Федерации, настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации в области охраны окружающей среды, посредством организации и проведения проверок указанных лиц, принятия предусмотренных законодательством Российской Федерации мер по пресечению и (или) устранению последствий выявленных нарушений, и деятельность уполномоченных органов государственной власти по систематическому наблюдению за исполнением обязательных требований, анализу и прогнозированию состояния соблюдения обязательных требований при осуществлении органами государственной власти, органами местного самоуправления, юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и гражданами своей деятельности.

В настоящее время государственный экологический надзор включает 15 видов надзорной деятельности:

- государственный надзор за геологическим изучением, рациональным использованием и охраной недр;
- государственный земельный надзор;
- государственный надзор в области обращения с отходами;
- государственный надзор в области охраны атмосферного воздуха;
- государственный надзор в области использования и охраны водных объектов;
- государственный экологический надзор на континентальном шельфе Российской Федерации;
- государственный экологический надзор во внутренних морских водах и в территориальном море Российской Федерации;
- государственный экологический надзор в исключительной экономической зоне Российской Федерации;
- государственный экологический надзор в области охраны озера Байкал;
- федеральный государственный лесной надзор (лесную охрану);
- федеральный государственный надзор в области охраны, воспроизводства и использования объектов животного мира и среды их обитания;



- федеральный государственный контроль (надзор) в области рыболовства и сохранения водных биоресурсов;
- федеральный государственный охотничий надзор;
- государственный надзор в области охраны и использования особо охраняемых природных территорий;
- государственный надзор за соблюдением требований к обращению озоноразрушающих веществ.

Федеральный государственный экологический надзор организуется и проводится при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и включенных в утверждаемый уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти перечень.

Перечень объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому надзору, определяется на основании установленных Правительством Российской Федерации критериев, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 28.08.2015 № 903 «Об утверждении критериев определения объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому надзору».

Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации организуют и осуществляют региональный государственный экологический надзор при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности с использованием объектов, подлежащих государственному экологическому надзору, за исключением объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому надзору.

Стоит отметить, что современное природоохранное законодательство освобождает от плановых проверок юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах, оказывающие минимальное негативное воздействие на окружающую среду (объектах IV категории).

Экологическая экспертиза проводится в целях установления соответствия документов и (или) документации, обосновывающих планируемую хозяйственную и иную деятельность, требованиям в области охраны окружающей среды. Порядок проведения экологической экспертизы устанавливается Федеральным законом от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе».

Экологическая экспертиза основывается на принципах:

- презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности;

- обязательности проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы;
- комплексности оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности и его последствий;
- обязательности учета требований экологической безопасности при проведении экологической экспертизы;
- достоверности и полноты информации, представляемой на экологическую экспертизу;
- независимости экспертов экологической экспертизы при осуществлении ими своих полномочий в области экологической экспертизы;
- научной обоснованности, объективности и законности заключений экологической экспертизы;
- гласности, участия общественных организаций (объединений), учета общественного мнения;
- ответственности участников экологической экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение, качество экологической экспертизы.

В Российской Федерации осуществляются государственная экологическая экспертиза и общественная экологическая экспертиза. Постановлением Правительства РФ от 11.06.1996 № 698 утверждено Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы. По аналогии с государственным экологическим надзором Федеральным законом от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» определена двухуровневая система осуществления государственной экологической экспертизы. Ст. 6 данного закона закреплена передача осуществления отдельных полномочий Российской Федерации в области экологической экспертизы органам государственной власти субъектов Российской Федерации.

## **1.2. Организационные основы охраны окружающей среды в Российской Федерации**

Система органов федеральной исполнительной власти, имеющих полномочия в сфере природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, была реорганизована в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 12.05.2008 № 724 «Вопросы системы и структуры федеральных

органов исполнительной власти» и Указом Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 21 «О структуре федеральных органов исполнительной власти». В систему федеральных органов исполнительной власти входят федеральные министерства, федеральные службы и федеральные агентства. Федеральные службы и федеральные агентства могут быть подведомственны Правительству Российской Федерации или непосредственно Президенту Российской Федерации. Порядок взаимоотношений федеральных министерств, федеральных служб и федеральных агентств, полномочия федеральных органов исполнительной власти, а также порядок осуществления ими своих функций изложены в Положении о каждом из указанных органах исполнительной власти.

В соответствии с вышеуказанными Указами задачи по управлению и координированию в сфере природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности возложены на Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. В ведении данного Министерства находятся:

- федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
- федеральная служба по надзору в сфере природопользования;
- федеральное агентство водных ресурсов;
- федеральное агентство лесного хозяйства;
- федеральное агентство по недропользованию.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере изучения, использования, воспроизводства и охраны природных ресурсов, включая недра, водные объекты, леса, объекты животного мира и среду их обитания, земельных отношений, связанных с переводом земель водного фонда, лесного фонда и земель особо охраняемых территорий и объектов (в части, касающейся земель особо охраняемых природных территорий) в земли другой категории, в области лесных отношений, в области охоты, в сфере гидрометеорологии и смежных с ней областях, государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), включающего в себя государственный мониторинг радиационной обстановки на территории Российской Федерации, в области обращения с животными, а также по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию

в сфере охраны окружающей среды, включая вопросы, касающиеся обращения с отходами производства и потребления, в том числе в области обращения с твердыми коммунальными отходами (за исключением вопросов тарифного регулирования), охраны атмосферного воздуха, государственного экологического надзора, особо охраняемых природных территорий и государственной экологической экспертизы.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации организует и в пределах своей компетенции обеспечивает выполнение обязательств, вытекающих из международных договоров Российской Федерации по вопросам, относящимся к сфере деятельности Министерства.

Однако помимо Министерства природных ресурсов и экологии регулирование в области охраны окружающей среды и природопользования осуществляют непосредственно Правительство Российской Федерации, а также многочисленные государственные структуры, в числе которых:

- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека;
- Федеральная служба государственной статистики;
- Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

Многие федеральные государственные органы, которые дислоцированы в Москве, имеют на местах, то есть в субъектах Российской Федерации, свои региональные подразделения ведомственного подчинения (территориальные органы), через которые федеральные органы осуществляют свою деятельность.

Следует особо отметить, что система охраны природы в России в течение последних 20 лет непрерывно реформируется, и по этой причине названную систему отличает постоянная нестабильность. Те или иные функции неоправданно часто передаются от одних федеральных ведомств другим, сами такие ведомства то возникают, то ликвидируются или видоизменяются, что в результате дестабилизирует систему охраны природы в целом, затрудняет ее развитие и негативно сказывается на конечных результатах ее деятельности. Многочисленные примеры такого рода просчетов легко обнаружить на всем российском пространстве: от Калининграда до Москвы, от Москвы до Сахалина и от Карелии до Сочи.

Конституция Российской Федерации предусматривает, что по предметам совместного ведения помимо федеральных законов

могут также приниматься законы и нормативные акты на уровне субъектов Федерации (ст. 76). Принимаемые при этом документы регионального уровня могут учитывать особенности местных условий, но при этом они не должны входить в противоречие с документами федерального уровня. Вопросы природопользования, а также охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности как раз относятся к предметам совместного ведения.

Таким образом, субъекты Российской Федерации имеют возможность корректировать хотя бы некоторые из существующих пробелов и иных недостатков, которые характерны для федеральной законодательно-нормативной базы в вопросах обращения с отходами, путем принятия соответствующих документов регионального уровня.

В некоторых регионах действуют законы о целевых программах по охране окружающей среды. Большинство же принятых нормативных документов регионального уровня касается только частных вопросов.

Таким образом, многие проблемы, имеющие частный характер, решаются с помощью документов, издаваемых отраслевыми комитетами Администрации того или иного субъекта Российской Федерации.

В последние годы в связи с очередным витком административной реформы в регионах прекращена публикация информации об экологической обстановке. Факт прекращения выпуска ежегодников о состоянии окружающей среды, которые длительное время использовались в качестве источника информации как сотрудниками управленческого аппарата, так и широким кругом специалистов, сам по себе свидетельствует о снижении в последние годы внимания государства к охране окружающей среды.

В связи с проведением в Российской Федерации реформы местного самоуправления, численность муниципальных образований на территории России резко возросло. Таким образом, на административные структуры новых муниципальных образований возлагаются многочисленные и достаточно сложные функции, со многими из которых они не в состоянии справиться, частично из-за недостатка финансовых средств, частично по причине отсутствия у «новоиспеченных» муниципальных чиновников соответствующего образования, знаний или опыта, а чаще всего как по той, так и по другой причине. Подобные проблемы оказывают свое негативное влияние и на исполнение муниципальными чиновниками своих функций.

Не всегда достаточно продуманное разделение административных районов на многочисленные муниципальные образования в ряде случаев грозит разрушением сложившихся связей, зачастую в результате этого страдает и экономика.

В вопросах местного значения поселения не прописаны задачи по охране окружающей среды, а только задачи по организации благоустройства и озеленения территории поселения, использования, охраны, защиты, воспроизводства городских лесов, лесов особо охраняемых природных территорий, расположенных в границах населенных пунктов поселения. В то же время к вопросам местного значения муниципального района (городского округа) относится организация мероприятий межпоселенческого характера по охране окружающей среды (в границах городского округа). Вполне вероятно, что для сохранения межмуниципальных связей – а их необходимо не только сохранить, но и усилить – реорганизация системы местного самоуправления потребует создания каких-то дополнительных административных механизмов. Так как деятельность администраций многочисленных муниципальных образований с трудом поддается контролю: Администрация субъекта Федерации не имеет для этого правовых и кадровых возможностей, местное население – опыта и знаний.

Однако очевидно, что проблему охраны окружающей среды, рационального природопользования и экологической безопасности невозможно решить без опоры властных структур на самые широкие круги населения. Только совместными усилиями власти, которой народ доверяет, и народа, усилия которого власть направляет в нужное русло, можно снизить антропогенную нагрузку на природную среду.

Бережное отношение населения к среде обитания должно воспитываться с детских лет в семьях, детских садах, школах, университетах. Процесс воспитания у людей уважительного отношения к природе – не краткосрочная кампания, а повседневное дело; этот процесс, в конечном счете, формирует сознание людей.

### **1.3. Виды экологических нормативов**

Нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в целях гарантирующего сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности государственного регулирования хозяйственной и (или) иной деятельности

для предотвращения и (или) снижения ее негативного воздействия на окружающую среду.

Российская система экологического нормирования имеет более чем 60-летнюю историю, что позволяет рассматривать природоохранные нормативы в нескольких направлениях, выделяя разные виды экологических нормативов.

Ряд ученых на сегодняшний день выделяют в структуре экологического нормирования три направления: нормирование качества среды обитания, санитарно-гигиеническое и производственно-ресурсное, каждое из которых подразделяется на соответствующие виды и разновидности.

В направлении нормирования качества среды обитания выделяются следующие виды нормирования: санитарно-гигиеническое и экологическое, которые заключаются в нормировании единичных и комплексных показателей состояния экосистем и отдельных компонентов окружающей среды, выработке критериев качества компонентов окружающей среды и шкалирования техногенных и природных экологических рисков.

К санитарно-гигиеническому нормированию отнесены нормативы ПДК, ОДК и ОБУВ, а также индексы и критерии качества вод. Новыми являются нормы индивидуального и группового риска, которые в настоящее время широко используются при оценках различного рода опасностей, в том числе и экологических, связанных с некачественным водопотреблением или загрязнением окружающей среды. К этой же группе можно отнести разработку оптимальных (экологически безопасных) зон санитарной охраны для поверхностных и подземных водозаборов, а также других компонентов среды

Производственно-ресурсное направление экологического нормирования подразделяется, в свою очередь, на нормирование воздействия производственно-хозяйственных сферы, нормирование безопасности производства, нормирование ресурсопользования, экологическое нормирование, территориальные ограничения и установление водоохраных зон и полос водных объектов и водозаборов.

Нормирование воздействия производственно-хозяйственной сферы сводится к ограничению объемов и интенсивности вредных воздействий с учетом ассимиляционной емкости экосистемы. Например, установление нормативов предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ, поступающих

с производственными и сточными водами, в водный объект, нормативов предельно допустимых норм рекреационной и строительной нагрузок.

Нормирование безопасности производства заключается в нормировании технологий производства и качества конечной продукции, а также основывается на критериях приемлемого риска аварий (для населения  $< 10^{-7}$  в год, для опасных объектов  $< 10^{-5}$  в год). Примерами нормативов безопасности производства служат нормы качества продукции (сертификат), показатели, отражаемые в Декларации безопасности, противоаварийные и противопожарные требования и др.

Нормирование ресурсопользования сосредоточено на лимитировании изъятия и использовании природных ресурсов с учетом экологического потенциала. Нормативами в данном случае являются лимиты и нормы изъятия, категории, нормы эксплуатации ресурсов.

Экологическое нормирование в производственно-ресурсном нормировании рассматривается как: нормирование допустимых нагрузок на экосистему (предельно допустимое вредное воздействие), биоценоз, природный территориальный комплекс, элементный ландшафт (региональные показатели экосистем, ассимиляционная емкость, индекс устойчивости экосистем).

Территориальные ограничения заключаются в выработке ограничений в зависимости от санитарной классификации предприятий, положения особо охраняемых природных территорий, состояния лечебно-оздоровительных местностей и источников водоснабжения. Санитарно-защитная – это является обязательный элемент любого объекта, который является источником воздействия на среду обитания и здоровье человек и позволяет отделить территорию промышленной площадки от жилой застройки, ландшафтно-рекреационной зоны, зоны отдыха, курорта. Границы санитарно-защитной зоны обязательно обозначаются специальными информационными знаками.

К установлению водоохраных зон и полос водных объектов и водозаборов отнесены нормативы ПДК в соответствии с СанПиН 2.1.4.1110-02, концентрации вредных веществ в компонентах экосистем.

Производственно-ресурсное нормирование связано с соблюдением и использованием экологических норм и правил технологических процессов, которые препятствуют поступлению загрязнителей в окружающую среду.



Организационно-техническое нормирование представляет собой вспомогательный вид нормирования, в состав которого входят: регулирование экологического контроля и мониторинга, регулирование природоохранной деятельности предприятий, регулирование отчетности и документооборота и терминологические нормативы.

Регулирование экологического контроля и мониторинга заключается в регламентации мониторинга экосистем и их отдельных компонентов, проведении производственного экологического мониторинга и контроля.

Требования стандартов ГОСТ Р серии «Охрана природы», ISO 14000 и т.п. позволяют регулировать организацию природоохранной деятельности, в том числе управлять качеством окружающей среды на предприятии.

Деятельность по охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности на предприятиях подлежит обязательному документированию. Стоит отметить, что в 2019 г. произошел полный переход на новую систему государственного экологического контроля и надзора. С 2019 г. все юридические лица и индивидуальные предприниматели получают разрешительную экологическую документацию в зависимости от категории объекта негативно-го воздействия на окружающую среду, присвоенной такому объекту при постановке на государственный учет.

В соответствии с федеральным законом «Об охране окружающей среды» в природоохранном законодательстве определены следующие экологические нормативы:

- качества окружающей среды;
- допустимого воздействия на окружающую среду.

Нормативы качества окружающей среды оценивают состояние окружающей среды в целях обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека, рационального использования природных ресурсов, сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

К нормативам качества окружающей среды относятся:

- нормативы, установленные для химических показателей состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций;
- нормативы, установленные для физических показателей состояния окружающей среды, в том числе показателей уровней радиоактивности;

– нормативы для биологических показателей состояния окружающей среды, в том числе видов и групп растений, животных и других используемых как индикаторы качества окружающей среды организмов;

– иные нормативы качества окружающей среды.

Нормативы качества окружающей среды устанавливаются на основании результатов лабораторных испытаний, а также для территорий и акваторий на основании данных наблюдений за состоянием окружающей среды. При установлении нормативов качества окружающей среды используются показатели, контроль за которыми обеспечивается посредством применения соответствующих методик (методов) измерений, способов индикации и тестирования.

Постановлением Правительства РФ от 13.02.2019 № 149 «О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий» утверждено Положение о разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды.

В целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и (или) иной деятельности устанавливаются нормативы допустимого воздействия на окружающую среду.

Выделяют следующие нормативы допустимого воздействия на окружающую среду:

– нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов;

– технологические;

– технические;

– образования отходов и лимиты на их размещение;

– допустимых физических воздействий (уровни воздействия тепла, шума, вибрации и ионизирующего излучения, напряженности электромагнитных полей и иных физических воздействий);

– допустимого изъятия компонентов природной среды;

– допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Соблюдение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, за исключением технологических нормативов и технических нормативов, должно обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели за превышение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду в зависимости от причиненного окружающей среде вреда несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Под нормативами допустимых выбросов понимаются нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, которые определяются как объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, как показатели активности радиоактивных веществ, допустимые для выброса в атмосферный воздух стационарными источниками.

Под нормативами допустимых сбросов – нормативы сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод в водные объекты, которые определяются как объем или масса химических веществ либо смеси химических веществ, микроорганизмов, иных веществ, как показатели активности радиоактивных веществ, допустимые для сброса в водные объекты стационарными источниками.

Нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов определяются для стационарного источника и (или) совокупности стационарных источников в отношении загрязняющих веществ, включенных в перечень загрязняющих веществ, установленный распоряжением Правительством Российской Федерации от 08.07.2015 № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», расчетным путем на основе нормативов качества окружающей среды, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций, с учетом фонового состояния компонентов природной среды.

С принятием Федерального закона от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» кардинально изменилась система нормирования воздействия на окружающую среду. Одним из основных изменений стало введение категоризации всех предприятий в зависимости от степени их воздействия на окружающую среду.

В соответствии с п. 1 ст. 4.2 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» все объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду (НВОС), в зависимости от уровня такого воздействия делятся на 4 категории:

– объекты, оказывающие значительное НВОС и относящиеся к областям применения наилучших доступных технологий (объекты I категории);

– объекты, оказывающие умеренное НВОС (объекты II категории);

– объекты, оказывающие незначительное НВОС (объекты III категории);

– объекты, оказывающие минимальное НВОС (объекты IV категории).

Расчет нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов, за исключением радиоактивных веществ, производится юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, планирующими строительство объектов I и II категорий (при проведении оценки воздействия на окружающую среду), а также осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах II категории, и является приложением к декларации о воздействии на окружающую среду.

В рамках проводимой экологической реформы нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов, за исключением радиоактивных, высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (вещества I, II класса опасности), не рассчитываются для объектов III категории. А для объектов IV категории нормативы допустимых выбросов нормативы допустимых сбросов и вовсе не рассчитываются.

Методики и методы разработки нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов утверждаются уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.

Что касается нормативов допустимых выбросов и нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ, то они устанавливаются для стационарных источников разрешениями на выбросы радиоактивных веществ, разрешениями на сбросы радиоактивных веществ, выдаваемыми уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти. При этом, разрешение на выбросы радиоактивных веществ, разрешение на сбросы радиоактивных веществ выдаются сроком на семь лет. Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.06.2018 № 731 «О нормативах допустимых выбросов радиоактивных веществ и нормативах допустимых сбросов радиоактивных веществ, а также о выдаче разрешений на выбросы радиоактивных

веществ, разрешений на сбросы радиоактивных веществ» утверждены «Правила разработки и установления нормативов допустимых выбросов радиоактивных веществ, нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ, а также выдачи разрешений на выбросы радиоактивных веществ, разрешений на сбросы радиоактивных веществ».

С 2019 г. объекты I категории обязаны получить комплексное экологическое разрешение (КЭР), в состав которого входят в том числе технологические нормативы, которые устанавливаются на основе технологических показателей, не превышающих технологических показателей наилучших доступных технологий, комплексным экологическим разрешением.

Для того чтобы понять различия между техническими и технологическими нормативами и показателями, рассмотрим определения данных понятий из ст. 1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»:

– технологические нормативы – нормативы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, нормативы допустимых физических воздействий, которые устанавливаются с применением технологических показателей;

– технологические показатели – показатели концентрации загрязняющих веществ, объема и (или) массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, образования отходов производства и потребления, потребления воды и использования энергетических ресурсов в расчете на единицу времени или единицу производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги;

– технические нормативы – нормативы, которые установлены в отношении двигателей передвижных источников загрязнения окружающей среды в соответствии с уровнями допустимого воздействия на окружающую среду.

Совсем недавно на законодательном уровне были установлены технологические показатели для различных отраслей промышленности.

На основании технологических показателей, привязанных к единице времени или единице производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги, рассчитываются технологические нормативы.

Правила разработки технологических нормативов утверждены Приказом Минприроды России от 14.02.2019 № 89 «Об утверждении Правил разработки технологических нормативов».

Технологические нормативы разрабатываются в отношении загрязняющих веществ.

Обязанность разработки технологических нормативов возложена на природопользователей для объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, а также для их частей (объектов технологического нормирования), на которых реализуются или планируется реализация технологических процессов, используется оборудование, применяются технические способы и методы при производстве продукции (товаров), выполнении работ, оказании услуг, в отношении которых в справочниках по наилучшим доступным технологиям описаны идентичные технологические процессы, оборудование, технические способы и методы, а также установленные технологические показатели наилучших доступных технологий, в том числе для выбросов, сбросов.

Срок установления технологических показателей наилучших доступных технологий не позднее шести месяцев после опубликования или актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям.

В отношении двигателей передвижных источников загрязнения окружающей среды технические нормативы устанавливаются техническими регламентами, принимаемыми в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

При невозможности соблюдения нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов, технологических нормативов действующим стационарным источником и (или) совокупностью стационарных источников, расположенных на объекте, оказывающем негативное воздействие на окружающую среду, устанавливаются временно разрешенные выбросы, временно разрешенные сбросы.

На период поэтапного достижения нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов разрабатывается и утверждается программа повышения экологической эффективности или план мероприятий по охране окружающей среды. Только при наличии данных документов возможно установление временно разрешенных выбросов, временно разрешенных сбросов.

Программа повышения экологической эффективности разрабатывается на объектах I категорий и включает в себя перечень мероприятий по реконструкции, техническому перевооружению объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, сроки их выполнения, объем и источники финансирования, перечень ответственных за их выполнение должностных лиц.

План мероприятий по охране окружающей среды в свою очередь разрабатывается для объектов I и II категорий, включая в себя перечень мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду, сроки их выполнения, объем и источники финансирования, перечень ответственных за их выполнение должностных лиц.

Правила разработки этих документов утверждены приказами Минприроды России от 17.12.2018 № 666 «Об утверждении правил разработки программы повышения экологической эффективности» и от 17.12.2018 № 667 «Об утверждении правил разработки плана мероприятий по охране окружающей среды».

Срок реализации программы повышения экологической эффективности и плана мероприятий по охране окружающей среды не может превышать семь лет и не подлежит продлению. За исключением объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, численность работников на которых составляет не менее чем 25 % численности работающего населения соответствующего населенного пункта (градообразующих организаций) или превышает пять тысяч человек, а также объектов, на которых хозяйственная и (или) иная деятельность осуществляется федеральными государственными унитарными предприятиями или открытыми акционерными обществами, акции которых находятся в федеральной собственности и которые осуществляют производство продукции (товаров), выполнение работ, оказание услуг и имеют стратегическое значение для обеспечения обороноспособности и безопасности государства, срок реализации программы повышения экологической эффективности не может превышать четырнадцать лет и не подлежит продлению.

Нормирование, государственный учет и отчетность в области обращения с отходами осуществляется на основании требований Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

В целях обеспечения охраны окружающей среды и здоровья человека, уменьшения количества отходов применительно к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, в результате хозяйственной и (или) иной деятельности которых образуются отходы, устанавливаются нормативы образования отходов и лимиты на их размещение.

Нормативы образования отходов и лимиты на их размещение разрабатываются отходообразователями на объектах I и II категорий,

определяемых в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды. При этом для объектов I категории нормативы образования отходов и лимиты на их размещение устанавливаются на основании комплексного экологического разрешения, для объектов II категории в декларацию о воздействии на окружающую среду включается информация об объеме или о массе образовавшихся и размещенных отходов.

Что же касается природопользователей, осуществляющих свою деятельность на объектах III категории, то они представляют отчетность об образовании, использовании, обезвреживании, о размещении отходов в уполномоченный Правительством Российской Федерации федеральный орган исполнительной власти или исполнительные органы государственной власти субъектов Российской Федерации в соответствии с их компетенцией в уведомительном порядке. Остальные отходообразователи освобождены от разработки нормативов образования отходов и лимитов на их размещение и представления отчетности об образовании, использовании, обезвреживании, о размещении отходов.

Несмотря на то, что отсутствуют обязательства разработки нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, природопользователи на объектах IV категории, как и на объектах I, II, III категорий, обязаны вести учет образовавшихся, утилизированных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещенных отходов. Порядок учета в области обращения с отходами установлен приказом Минприроды России от 01.09.2011 № 721 «Об утверждении Порядка учета в области обращения с отходами».

Учет в области обращения с отходами ведется на основании фактических измерений количества использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, размещенных отходов. В случае невозможности произвести фактические измерения количества использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, размещенных отходов, учет ведется на основании следующих источников: технической и технологической документации; бухгалтерской документации; актов приема-передачи; договоров.

Учету подлежат все виды отходов I–V класса опасности, образовавшихся, использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещенных юридическим лицом и индивидуальным предпринимателем за



учетный период. На основании данных учета в области обращения с отходами составляется ежегодный статистический отчет по форме № 2-ТП (отходы), форма которого утверждена приказом Росстата от 12.12.2019 № 766 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения с указаниями по ее заполнению для организации Федеральной службой по надзору в сфере природопользования федерального статистического наблюдения за отходами производства и потребления».

Юридические лица и физические лица, занимающиеся предпринимательской деятельностью без образования юридического лица (индивидуальные предприниматели), осуществляющие деятельность в области обращения с отходами производства и потребления, региональные операторы по обращению с твердыми коммунальными отходами, операторы по обращению с твердыми коммунальными отходами предоставляют сведения территориальному органу Росприроднадзора в субъекте Российской Федерации в срок до 1 февраля года, следующего за отчетным, а территориальный орган Росприроднадзора в свою очередь предоставляет в Росприроднадзор до 15 марта года, следующего за отчетным.

Необходимо отметить, что за превышение лимитов на размещение отходов, непредставление, несвоевременное предоставление или предоставление недостоверных первичных статистических данных юридические лица и индивидуальные предприниматели несут ответственность, предусмотренную законодательством Российской Федерации.

Под нормативами допустимых физических воздействий понимают нормативы, которые установлены в соответствии с уровнями допустимого воздействия физических факторов на окружающую среду и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды. Исходя из нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды и с учетом влияния других источников физических воздействий нормативы допустимых физических воздействий на окружающую среду устанавливаются для каждого источника такого воздействия.

Несмотря на важную роль в обеспечении рационального природопользования и охраны окружающей среды, правовое регулирование нормирования в сфере использования природных ресурсов не получило пока должного развития. Нормативы изъятия природных ресурсов устанавливаются с целью обеспечить удовлетворение

общественных потребностей в природных ресурсах, предупредить истощение этих ресурсов. Такие нормативы разрабатываются с учетом возможностей их воспроизводства, сохранения устойчивого функционирования естественных экологических систем.

Нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды и порядок их установления определяются законодательством о недрах, земельным, водным, лесным законодательством, законодательством о животном мире и иным законодательством в области охраны окружающей среды, природопользования и в соответствии с требованиями в области охраны окружающей среды, охраны и воспроизводства отдельных видов природных ресурсов.

Более конкретные требования о нормировании отдельных природных ресурсов предусматриваются в природоресурсном законодательстве с учетом специфики того или другого природного ресурса.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду устанавливаются по каждому виду воздействия на окружающую среду хозяйственной или иной деятельности, а также по совокупному воздействию всех стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду, расположенных в пределах конкретных территорий и (или) акваторий с учетом их природных особенностей. Эти нормативы применяют при формировании территориально-производственных комплексов, развитии промышленности, сельского хозяйства, строительстве и реконструкции городов, иных населенных пунктов. Целью является обеспечение благоприятных условий жизни населения при недопущении необратимых изменений естественных экологических систем или иначе – рациональное сочетание хозяйственной и иной деятельности по использованию природных ресурсов с охраной природы. Нормативы допустимой антропогенной нагрузки должны разрабатываться по результатам научных исследований, изыскательских и проектных работ.

Выделяют региональные и отраслевые нормативы допустимой антропогенной нагрузки: региональные нормативы, учитывающие хозяйственную или рекреационную нагрузку на природные комплексы; отраслевые нормативы, которые применяются к отдельным природным ресурсам. К сожалению, на сегодняшний день этот вид нормативов допустимого воздействия на окружающую среду наименее разработан и практически не применяется на практике, что влечет за собой серьезные последствия. Нерациональное размещение промышленных предприятий на территории некоторых городов

(Кемерово, Уфа, Стерлитамак и др.) привело окружающую среду и население этих регионов к тяжелым экологическим последствиям. Нежелание считаться с объективными нормативами нагрузки скота на единицу пастбищных угодий в некоторых регионах Республики Калмыкия стало причиной опустынивания земель.

При отсутствии федеральных нормативов допустимого воздействия на окружающую среду или в целях установленных иных ограничений по сравнению с федеральными (но не ниже ими установленных) с учетом экологической обстановки на территории соответствующего субъекта Российской Федерации могут вводиться иные региональные нормативы допустимого воздействия на окружающую среду.

## **2. Методологические и методические основы нормирования природного и антропогенного воздействий**

В середине 80-х годов прошлого столетия в нашей стране произошли существенные изменения в государственном контроле за загрязнением окружающей среды. Было предложено разработать принципиально новый подход к нормированию антропогенных воздействий, основанный на экологическом нормировании техногенных загрязнений различных элементов географической оболочки.

Проблема экологического нормирования обсуждается в специальной литературе достаточно давно, и к настоящему времени разработаны методологические основы обоснования предельно допустимых экологических нагрузок. Однако, во многих публикациях продолжают преобладать общие рассуждения и отсутствуют конструктивные предложения, которые можно было бы использовать при экологическом нормировании. Возникает впечатление, что количество предложенных подходов к решению этой проблемы равно количеству занимающихся ею учеными. Можно предположить, что в конечном итоге все же будет создана общая теория, которая объединит все подходы и взгляды на механизм функционирования экосистем и позволит учесть эти механизмы при экологическом нормировании антропогенного воздействия. Следует признать, что запросы практики требуют незамедлительного перехода от общих

рассуждений о необходимости экологического нормирования к созданию научно обоснованных методов расчета допустимых экологических нагрузок на экосистемы.

Нормирование антропогенных нагрузок на окружающую среду – одно из важнейших теоретических направлений современной экологии и управления природопользованием.

Основная цель экологического нормирования заключается в ограничении антропогенного воздействия рамками экологических возможностей и нацелено на оптимизацию взаимодействия человека с природой, на оптимизацию использования возобновляемых природных ресурсов.

Для выработки оптимальных норм техногенных воздействий необходимо найти границы устойчивости природных и природно-техногенных систем и разработать систему требований (стандартов хозяйственной деятельности) для природопользователей.

В общем виде экологическое нормирование предусматривает:

– учет при оценке последствий антропогенного воздействия множественности путей загрязнения и самоочищения элементов биосферы;

– поиск «критических» звеньев биосферы и факторов воздействия;

– развитие подходов к нормированию воздействий с учетом их влияния на природные экосистемы.

Развитие экологического нормирования призвано обеспечить создание системы реальных, отражающих фундаментальные природные процессы и возможности современных технологий, ориентиров минимизации антропогенного воздействия.

Основным критерием при определении допустимой антропогенной нагрузки является отсутствие снижения продуктивности, стабильности и разнообразия экосистемы. Гибель отдельных организмов в этом случае не представляется критической.

Для каждой экосистемы должны быть выявлены собственные критерии качества природной среды, зависящие от экологического резерва данной экосистемы и от экологических возможностей региона.

Экологическое нормирование основано не на оценке природопользователями качества наземных и водных природных объектов, а на оценке внутренних свойств и возможностей экосистем сохранять свое состояние или утрачивать его при внешнем воздействии на них.

Под экологическим нормированием в широком смысле понимается научно обоснованное ограничение воздействия хозяйственной деятельности на ресурсы биосферы, обеспечивающее экологические потребности общества наряду с его социально-экономическими интересами. Это наиболее общее и простое определение, которое не раскрывает полностью всю многогранность данной области.

Современная российская концепция экологического нормирования определяет его как деятельность, направленную на установление системы нормативов состояния и нормативов предельно допустимого воздействия на экосистемы, необходимых для эффективного осуществления природоохранного управления. Предполагается, что нормативы состояния должны основываться на тех характеристиках экосистем, которые наиболее информативно реагируют на антропогенное воздействие, значимое для состояния данной экосистемы в целом. Подразумевается также, что, в свою очередь, установление нормативов предельно допустимых воздействий на экосистемы способствует регулированию загрязнения окружающей среды, изъятия природных ресурсов, ограничению антропогенной трансформации экосистем.

Более специфичным является понятие нормирование в области охраны окружающей среды – научная, правовая, административная и иная деятельность, направленная на установление различных нормативов – предельно допустимых норм воздействия (экологических регламентов, нормативов экологических) на окружающую природную среду, нормативов качества окружающей среды, а также государственных стандартов и иных документов в области охраны окружающей среды, при соблюдении которых не происходит деградация экосистем, гарантируются сохранение биологического разнообразия и экологической безопасности населения.

Некоторые исследователи под экологическим нормированием понимают специальную научно-исследовательскую и нормативно-правовую деятельность по обоснованию экологических критериев качества окружающей среды и разработке основанных на этих критериях нормативов допустимых антропогенных воздействий, природоохранных норм и правил применительно ко всем основным формам хозяйственной деятельности.

Нормирование с современных позиций рассматривается как научная, правовая, административная и иная деятельность. Таким образом, акцентируется внимание на соблюдении действующих нормативов и необходимости выработки новых, более жестких правил

взаимодействия человека с окружающей средой с целью поддержания ее функционального назначения, устойчивых (гармоничных) взаимоотношений человека и окружающей среды.

Объединяя все выше рассмотренные понятия, под экологическим нормированием будем понимать нормирование антропогенного воздействия на экосистему в пределах её экологической ёмкости, не приводящего к нарушению механизмов саморегуляции.

## **2.1. Современное состояние проблемы оценки устойчивости**

Впервые научный интерес к оценке устойчивости и изменчивости природных экосистем и геосистем различных уровней иерархии, их стабильности и чувствительности к внешним воздействиям сформировался в конце 1960-х – начале 1970-х годов. С одной стороны, это объясняется успехами, достигнутыми классической экологией, и бурным развитием математической экологии, с другой – необходимостью получения количественных оценок нагрузок на экосистемы, превышение которых приведет к «экологической катастрофе», т. е. к разрушению экосистемы. С решением этой проблемы неразрывно связана и проблема экологического нормирования, основным содержанием которой является поиск «нормы состояния природной экосистемы», «нормы воздействия на нее» и ответной реакции экосистемы на внешнее воздействие.

По-видимому, первый опыт рекогносцировочной балльно-индексной оценки устойчивости наземных геосистем и водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов был опубликован ВНИИ Природы (Москва) в сборнике «Оценка состояния и устойчивости экосистем». Этот опыт в части водных объектов базировался на существовавших в то время классификациях водотоков и водоемов, являвшихся составной частью общей классификации объектов единого государственного водного фонда, разработанной в Государственном гидрологическом институте при участии ряда других научно-исследовательских институтов. Работы по этим классификациям были завершены созданием ГОСТ «Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов». Оценка устойчивости и уязвимости водоемов к изменению параметров режимов долгое время разрабатывалась на основе балльно-индексного метода, в основу которого были положены различные классификации А.М. Владимирова; В.В. Снакина; А.Л. Ресина;

В.В. Дмитриева и др. Эти способы оценки устойчивости водных объектов являются первым, рекогносцировочным этапом, необходимым для построения оценочных шкал, но зачастую недостаточным для объективной количественной оценки устойчивости изучаемого водного объекта. Парадоксальность данного подхода состояла в том, что исследователь, имея в своем распоряжении большое количество оценочных шкал различных состояний, свойств, состава и качества систем, переводил их в балльную систему, огрубляя таким приемом исходную информацию и суммируя затем индексы и баллы, вместо того, чтобы работать с вектором состояния (устойчивости) системы или со сводным показателем состояния (устойчивости).

Несмотря на относительную новизну проблемы, она уже успела обрасти изрядным количеством терминов, большей частью заимствованных из техники, математики и общей теории систем. Стабильность, инертность, инерционность, инвариантность, равновесие, упругость, надежность, долговечность, пластичность, эластичность, саморегуляция, организованность, гомеостазис – это далеко не полный перечень терминов, которыми оперируют исследователи, затрагивая проблему устойчивости. Понятие «устойчивость» в экологии является наиболее полисемантическим. Прежде всего, так называют несколько разных свойств биосистем надорганизменного уровня. Далее, в пределах каждой из этих категорий имеется множество более конкретных ее определений, и, соответственно, способов оценки, выражающих собственные представления различных исследователей о ее наиболее приоритетных критериях. В связи с этим в экологической литературе используются термины, обозначающие не только различные, но, часто, одни и те же категории устойчивости: устойчивое равновесие, гомеостаз, способность сохранять гомеостаз, резистентность, упругость, резистентная устойчивость, упругая устойчивость, живучесть, персистентность, самоорганизуемость, устойчивость к воздействию, и т.д.; в англоязычной литературе – *stability, perseverance, firmness, steadiness, elasticity, resilience, stationary* и др. Большинство этих терминов произвольно используется авторами в разных значениях, для выражения собственных представлений об устойчивости. Наиболее очевидно различие двух основных значений термина «устойчивость»: во-первых, устойчивость, как способность системы длительно существовать, сохраняя свои основные свойства и параметры режимов, или в неизменной среде, или в среде, изменения которой не принимаются исследователем во внимание; во-вторых, устойчивость, как способность

системы противостоять внешнему воздействию, возвращаясь в него после временной ее утраты

На сегодняшний день нет единого, общепринятого метода оценки устойчивости и экологического благополучия водных объектов. Более того, существует терминологическое несоответствие некоторых понятий, связанных с устойчивостью. Так, например, в основе методологических построений уязвимости по В.Б. Погребову, и А.Ю. Пузаченко (2003) оценка экологической уязвимости организмов, определяется как совокупность особенностей видов или групп растений и животных, которые зависят от их чувствительности к видам воздействия и способности восстанавливать исходное обилие и структуру популяций по окончании воздействия. При этом полагается, что экологическая уязвимость акватории в целом определяется пребыванием на ней групп организмов с различной уязвимостью и обилием. На наш взгляд, в данном подходе отсутствует важное дополнение, требующее обсуждения. В этом дополнении необходимо показать, что наиболее чувствительные к воздействию системы, являются и наиболее уязвимыми. Такое доказательство либо отсутствует в работах, либо принимается априорно.

По оценке В.Б. Погребова и А.Ю. Пузаченко, например, наиболее уязвимыми районами моря к аварийным разливам нефти оказались мелководья, прилегающие к материку, островам и подводным поднятиям (банкам), приустьевые взморья, вершины губ и заливов.

В основе оценки уязвимости по М.А. Новикову под уязвимостью водной экосистемы понимается степень ее зависимости от внешних воздействий, которые могут привести к нарушению ее структуры и функционирования, т. е. к потере стабильности (пусть даже временной). Степень уязвимости различных акваторий по М.А. Новикову должна, определять возможные потери биомассы гидробионтов и продуктивности биоценозов в случае загрязнения или отчуждения тех или иных акваторий при промышленной эксплуатации шельфа (разработка полезных ископаемых и т.п.). Синтетическая оценка уязвимости в этом подходе рассчитывается авторами «путем интегрирования нормированных данных всех цифровых тематических карт района, с учетом «весовых» характеристик последних».

Другие авторы (М.Б. Шилин, 2007) предлагают вводить универсальный (по М.Б. Шилину – интегральный) индекс, характеризующий состояние и устойчивость водной экосистемы, в качестве которого предлагается, например, индекс Шеннона, на том основании, что наиболее сложные системы являются и наиболее устойчивыми.



При этом устойчивость к определенному типу воздействия на экосистему будет результатом оценки видового разнообразия в системе, но никак не определяться совокупностью большого числа физико-географических, климатических, гидрологических, гидрохимических, продукционных и др. характеристик и факторов.

В своей работе Е.А. Примак (2009) под устойчивостью водного объекта к изменению параметров режимов понимает его способность сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих на него внешних и внутренних нагрузок. Тогда уязвимыми к изменению параметров режимов будут объекты, не способные сохранять указанные свойства на определенном временном интервале функционирования.

На основе обобщения существующих подходов к оценке устойчивости и экологического благополучия водных объектов Д.К. Алексеевым (2019) разработан интегральный индекс для оценки устойчивости морских акваторий, на примере экосистем Финского залива. В его работе было выполнено построение интегрального показателя устойчивости морских акваторий и построена обучающая модель-классификация для расчета обобщенных индексов, позволяющих на интегральной основе классифицировать морские акватории по классам устойчивости. Апробация результатов показала, что исследуемая часть акватории относится к умеренно устойчивым экосистемам со средней степенью экологического благополучия.

## 2.2. Понятие и критерии оценки устойчивости

Под *устойчивостью системы* к воздействию нами понимается способность системы сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих внутренних и внешних возмущений. Общий перечень понятий, связанных с устойчивостью водных систем приводится в работах В.В. Дмитриева (2000); В.В. Дмитриева и Г.Т. Фрумина (2004).

Чаще всего в экологической литературе термин «устойчивость» используется в следующих значениях:

– *инертность системы* – способность экосистемы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени;

– *пластичность системы* – способность экосистемы переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи;

– *восстанавливаемость системы* – способность экосистемы возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия.

Первые два понятия трактуются как адаптационная устойчивость, третье – как регенерационная. *Адаптационная устойчивость* присуща водным экосистемам циклического типа (озера, слабопроточные водоемы, пруды), а *регенерационная* – экосистемам транзитного типа (реки, сильно проточные водоемы). В литературе практически не обсуждается проблема оценки устойчивости для водных экосистем каскадного типа или водных экосистем переходного типа (эстуарных). По-видимому, для них должны быть разработаны собственные модели-классификации, учитывающие как адаптационную, так и регенерационную составляющие, или предпочтение в оценке отдается одному из подходов на основе дополнительной аргументации.

Можно добавить, что абиотические и биотические составляющие экосистемы по механизмам устойчивости также различаются между собой. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции вещества; устойчивость вторых обусловлена способностью адаптации организмов к воздействию, как в результате внутренней резистентности биохимической организации, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обменных процессов в экосистеме под влиянием воздействия.

Для условно-равновесных природных систем, в том числе и экологических, справедлив *принцип Ле-Шателье–Брауна*: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. Следствием из этого принципа является положение, при котором при прочих неизменных условиях более продуктивная экосистема будет более устойчива к эвтрофированию, а более сапробная (токсобная) экосистема с низким качеством воды будет более устойчива к снижению качества воды. Поэтому устойчивая экосистема не должна ассоциироваться у исследователя с экологически благополучной системой, необходим анализ факторов, определяющих причину ее высокой устойчивости. Более того, известно, что стратегией природы является сохранение разнообразных, высоко устойчивых, относительно замкнутых климаксных экосистем суши. Это достигается за счет

снижения их продуктивности. Человеку выгоднее развивать молодые, высокопродуктивные экосистемы с малым видовым разнообразием, но они, как правило, являются низко устойчивыми к внешнему воздействию.

В настоящее время многими исследователями признается, что более сложные, более разнообразные экосистемы являются и более устойчивыми. Так, в случае озерной экосистемы последовательность ее развития направлена на усложнение организации и усовершенствование метаболической эффективности, что обуславливает ее высокие защитные свойства. Стоит отметить, однако, что усложнение организации водной системы происходит до стадии олиго-мезотрофии и олиго-мезосапробности, после чего происходит упрощение организации, но устойчивость системы к эвтрофированию и изменению качества воды, следуя принципу Ле-Шателье–Брауна, при этом возрастает.

Необходимо также подчеркнуть, что наблюдаемая неизменность во времени свойств какой-либо экосистемы отнюдь не свидетельствует об ее устойчивости и, наоборот, экосистема с ярко выраженными колебаниями характеристик может быть устойчива к определенным внешним воздействиям.

Известно, что в природных экосистемах характеристики различных сообществ регулируются и удерживаются в некоторых константных диапазонах постоянными соотношениями притока доступной энергии и элиминации. Если изменить это соотношение, соответственно изменятся и свойства экосистемы, однако, пока их баланс сохраняется, можно говорить об устойчивости системы во времени. Человек постоянным воздействием на биосистемы часто стабилизирует их, примерами таких систем могут служить агроценозы, удобряемые озера, объекты аквакультуры. В связи с этим А.Ф. Алимов предлагает вообще не разделять биосистемы на «стабильные» и «нестабильные».

Экосистемы, в которых наблюдаются существенные периодические колебания характеристик, например экосистемы водоемов с поймами, обладают значительной устойчивостью благодаря *импульсной стабилизации*. Вообще, любым экосистемам умеренной и полярной зон в отличие от экваториальных экосистем свойственна значительная внутригодовая динамика характеристик, при этом в климаксной экосистеме их внутригодовой ход повторяется каждый год практически без изменений. Как отмечает И.С. Печуркин, малые колебания поддерживают систему и оберегают ее от больших катастроф.

Пространственно-временные периодические флуктуации компонентов могут резко повысить глобальную устойчивость системы.

Теоретические и методические разработки по устойчивости геосистем охватывают два комплекса вопросов. Первый заключается в познании устойчивости и изменчивости геосистем как фундаментального свойства объектов реального мира. Здесь исследуются основные понятия устойчивости геосистем и связанные с ней представления об *инварианте системы*. *Инвариантными* называют свойства геосистемы, которые сохраняются неизменными при преобразовании той или иной категории геосистем. Если в результате внешнего воздействия *инвариант* сохранен, то можно говорить о возвращении геосистемы по прошествии некоторого времени в первоначальное состояние. Если изменения привели к смене *инварианта*, то восстановление геосистемы маловероятно. В разных ситуациях *инвариантными* могут быть: состояние системы, структура, способ функционирования, траектория саморазвития. Выбор *инварианта* зависит от свойств системы и от задач исследования. При таком подходе устойчивой считают систему, которая любым способом сохраняет инвариант в течение времени, значительного относительно времени смены инварианта (переходного процесса), и механизмы устойчивости разделяют на четыре группы: сохраняющие (стабилизирующие) состояние системы, сохраняющие тип функционирования, сохраняющие структуру, сохраняющие направленность (траекторию) движения системы.

Второй комплекс вопросов охватывает исследование устойчивости геосистем разного ранга к антропогенным воздействиям разнообразного характера. Здесь разрабатываются подходы к определению запаса устойчивости экосистем, выяснению критериев и методов оценки устойчивости природных и природно-антропогенных ландшафтов к нагрузкам от различных видов промышленного производства и сельского хозяйства. Обсуждению параметров устойчивости географических и эколого-экономических систем посвящена монография А.А. Быстрова. Автор вводит понятие «морфологического куба параметров устойчивости», характеризующего 196 вариантов взаимосвязи элементов устойчивости. Современные ландшафты при этом рассматриваются как системы, сочетающие характерную для природы самоорганизацию и управление, характерное для социальных процессов.

Как отмечает А.Д. Арманд, в процессе отбора наиболее жизнеспособными оказываются два крайних типа систем: с преобладанием

сильных внутренних взаимодействий (*сильные системы*) и слабых внутренних связей (*слабые системы*). Отличительной чертой первых можно считать четкое разделение функций внутри целого, вторых – сходство свойств и функций, выполняемых в системе ее составными частями. Системы с *сильным* типом взаимодействия элементов легко и в широких пределах меняют состояния своих подсистем и характер их функционирования. Это позволяет им нейтрализовать изменения внешних условий и сохранять от разрушения структуру. Системы со *слабыми* взаимодействиями реагируют на внешние перемены структурными перестройками. Такие системы отображаются при районировании территории в виде «однородных» районов (места обитания животных одного вида, совокупность водосборных бассейнов первого порядка и т.д.). Важной особенностью этих подсистем является их качественная однородность, не позволяющая им взаимодействовать по принципу дополнения.

Если исследователей интересуют лишь характеристики поступающих из экосистемы веществ (например, качество воды в вытекающей из водоема реке), то необходимо оценить устойчивость в экосистеме биогеохимического круговорота. При этом в случае неизменности характеристик круговорота веществ, изменения видового состава и трофической структуры сообщества не играют роли. Если речь идет о сохранении заповедной водной экосистемы в неизменном состоянии, то необходимо определить *устойчивость экосистемы к сохранению числа видов организмов*.

Понятно, что данное требование бессмысленно распространять на фито-, зоопланктон и бактериальное сообщество из-за высокой способности этих организмов к распространению и короткого периода жизни отдельного организма. Требование сохранения в экосистеме всех видов применимо к достаточно крупным организмам, с жизненным циклом порядка года и более: макрофитам, рыбам, земноводным, моллюскам, олигохетам и другим. Если же важно не допустить снижения изъятия из экосистемы какого-либо ресурса (например, ценного вида рыб или животных), устойчивость экосистемы должна быть оценена по устойчивости численностей составляющих сообщество видов. Естественно, что устойчивость численностей видов сообщества предполагает также устойчивость его трофической структуры. То есть выбор критерия, по которому следует определять устойчивость природной экосистемы, диктуется предъявляемыми к экосистеме требованиями.

Без сомнения, что устойчивость экосистемы по данной характеристике к какому-либо внешнему возмущению будет тем больше, чем больше возмущение она способна испытать без изменения этой характеристики. Для оценки степени воздействия внешнего фактора на состояние экосистемы необходимо через систему слежения гидроэкологического мониторинга получить конкретное значение репрезентативного параметра (параметров), отражающих системные свойства, до воздействия и после него. На основании этого разработана и опубликована система параметров, характеризующих устойчивость водных экосистем.

Изучая закономерности воздействия факторов среды на гидробионтов, весьма важно выбрать оптимальные критерии устойчивости сообществ, которые следует положить в основу метода ее количественной оценки. В настоящее время в рамках указанных выше различных понятий об устойчивости выделяют различные ее признаки. Что касается градаций и шкал устойчивости, то они слабо разработаны и не достаточно обобщены в отечественной и зарубежной литературе.

Наиболее часто используются количественные характеристики различных форм устойчивости, основанные на интегральных показателях обилия (традиционно – биомасса, численность организмов в сообществе или биоте в целом; реже – также энергетические показатели). Формально по такому принципу могут оцениваться все выделенные выше формы устойчивости. Но при этом устойчивость биосистемы, рассматриваемая безотносительно воздействия на нее, может быть оценена только по степени постоянства этих количественных характеристик. Ясно, что для оценки устойчивости к воздействию этого явно недостаточно. На этой основе нельзя получить экологически обоснованных нормативов, регулировать и прогнозировать воздействия. Резистентную устойчивость к воздействию логично оценивать по тому, насколько постоянны во времени ее рассматриваемые количественные показатели. Упругая устойчивость к воздействию вообще не может быть оценена степенью постоянства или вариабельности количественных характеристик биосистемы, т. к. здесь важна не степень их вызываемого изменения, а скорость и полнота восстановления их исходных значений. В связи с этим упругость биосистемы надорганизменного ранга практически оценивается временем полного восстановления их количественных характеристик или обратной величиной – скоростью восстановления.

Для оценки степени воздействия внешнего фактора на параметр состояния экосистемы необходимо знать конкретное значение последнего воздействия и после него. На основании этого можно оценить степень изменения параметра (показатель измененности параметра  $J_c$  в процентах у В.В. Снакина и соавторов) по формуле:

$$J_c = |dP_c| / P_c \times 100, \quad (2.1)$$

где  $P_c$  – естественное значение параметра до возмущения.

Развивая данный подход, В.В. Дмитриев, В.Ю. Третьяков, В.П. Кулеш и др. (1995), предложили параметры, характеризующие устойчивость экосистем:

– абсолютный показатель  $X_{уст}$  изменения устойчивости (числа видов, численности конкретного вида или параметра, отражающего круговорот веществ) при данном воздействии в процентах:

$$J_{хар.уст.} = |dX_{уст}| / X_{уст} \times 100 \quad (2.2)$$

– абсолютная неизменность экосистемы  $A_c$  по данной характеристике при известном воздействии:

$$A_c = 100 - J_{хар.уст.} \quad (2.3)$$

Например, число видов в экосистеме составляло 100, а после воздействия оно снизилось до 90,  $J_{числа\ видов} = 10\%$ ,  $A_c = 90\%$ .

Более информативны, вероятно, относительные показатели, определяющие, как степень изменения параметра устойчивости соответствует степени изменения внешнего фактора. Пусть  $\Phi$  – естественное значение фактора среды, возмущение которого привело к изменению характеристики устойчивости экосистемы  $X$ .

Тогда:

$$Y_{отн.} = (|dX| / X) : (|d\Phi| / \Phi), \quad (2.4)$$

где  $\Phi$  – среднегодовое фоновое значение фактора внешней среды;  $d\Phi$  – его антропогенное изменение, также среднегодовое или максимальное.

При  $Y_{отн.} \ll 1$  экосистема относительно устойчива, существенное изменение внешнего фактора приводит к незначительному изменению параметра устойчивости. При  $Y_{отн.} > 1$  внешнее возмущение вызывает гораздо большее изменение.

Данное уравнение не имеет смысла для не встречающихся в естественных условиях поллютантов. В этом случае, вероятно, следует применять следующий показатель:

$$Y_{отн.} = (|dX| / X) : (|d\Phi| / ПДК), \quad (2.5)$$

где ПДК принимается по наиболее опасному для экосистемы поллютанту.

Для сравнения устойчивости экосистемы различных водоемов небесполезным будет использование степени относительной неустойчивости экосистемы:

$$C_{\text{отн. уст.}} = (|dX| / X) : (|d\Phi| / \Phi) \quad (2.6)$$

при  $\Phi = a \times \Phi$ , где  $a = \text{const}$ .

Данное выражение показывает, как изменение данного фактора воздействует на характеристику устойчивости экосистемы. Если принять  $a = 1$ , то среднегодовая концентрация субстанции увеличивается в 2 раза (об уменьшении не говорим, так как это не типично для антропогенного загрязнения вод). Тогда:

$$C_{\text{отн. уст.}} = |dX| / X \quad (2.7)$$

при двукратном увеличении концентрация поллютанта. Для неизменной системы  $C_{\text{отн. неуст.}} = 0$ . Используя данные показатели, можно сравнивать различные водные системы по критериям их устойчивости.

### **2.3. Методологические основы нормирования природного и антропогенного воздействий**

В случае, когда число видов в сообществе остается постоянным, т. е. ни один вид не вымирает, то применительно к экосистеме говорят об устойчивости по Лагранжу. Самым жестким является требование глобальной устойчивости экосистемы, или устойчивости по Ляпунову. В этом случае должно существовать некоторое равновесное положение экосистемы в многомерном пространстве ее характеристик, причем из окрестностей точки равновесия экосистема не должна никогда выходить, несмотря на внешние возмущения. Естественно, что система, устойчивая по Ляпунову, тем более устойчива по Лагранжу.

При обсуждении способности экосистем сохранять основные свойства в условиях воздействия также выделяются понятия: «резистентная устойчивость к воздействию (резистентность)» и «упругая устойчивость к воздействию (упругость)» по Холлингу. С 1973 г., когда Холлинг высказал предположение, что природные экосистемы обладают двумя свойствами: стабильностью (stability) и упругостью (resilience), термин «stability» на русский язык переводился и как устойчивость и как стабильность. Под упругостью природных



систем Холлинг понимал способность переходить под действием возмущений из одного устойчивого положения в другое, сохраняя при этом внутренние взаимосвязи. Под стабильностью понималась способность природной экосистемы возвращаться в прежнее состояние устойчивого равновесия после временного воздействия на нее. Чем быстрее возвращение и чем меньше флуктуаций (т. е. отклонений от среднего значения), тем более стабильна по Холлингу система. Автор отмечает, что чем однороднее окружающая среда (т. е. чем больше ее энтропия), тем более вероятно, что природная экосистема имеет слабую флуктуацию, низкую упругость и высокую стабильность (цит. по Шуйскому).

По определению Ю. Одума, эти свойства соответствуют способности сопротивляться нарушениям, поддержания неизменной свою структуру и функции, и способности восстанавливаться после того, как структура и функции были нарушены. Подчеркивается, что эти два свойства экосистем принципиально различны, но иногда устойчивость системы трактуется именно как обобщенная характеристика обоих этих качеств – т. е. как способность сохранять непременно и резистентность и упругость. Но, возможно, нет необходимости ни противопоставлять резистентность упругости, ни вводить какой-либо единый двухпараметрический критерий устойчивости с учетом обеих ее форм. Ясно, что по мере увеличения воздействия на экосистему, по достижении порога реакции, в ней происходят сначала обратимые изменения (потеря резистентности) и лишь потом, при более сильном воздействии, необратимые (потеря упругости). Следовательно, сохранение резистентной устойчивости уже предполагает сохранение упругости, а потеря упругости означает, что предварительно уже была потеряна резистентность.

Ю.М. Свирежев и Д.О. Логофет (1978) выделяют устойчивость глобального биогеохимического цикла, числа видов в сообществе, численности видов в сообществе. Видовая структура водной экосистемы фактически не обладает сопротивляемостью, т. е. реагирует на любые воздействия. Однако видовая структура упруга: при возвращении характеристик среды к первоначальным, видовая структура также возвращается к первоначальному состоянию, разумеется, если не произошло полного уничтожения ни одного вида. Структура трофической сети, как правило, отличается малой сопротивляемостью и высокой упругостью. Гораздо более высокой сопротивляемостью обладает структура биогеохимического круговорота веществ и особенно высока ее упругость. Последнее определение

близко к термодинамическому понятию стабильности, по которому система считается стабильной, если малы вероятности больших флуктуаций.

В работе В.Ф. Шуйского «Закономерности лимитирования пресноводного макрозообентоса» показано, что информативной *мерой* как резистентной, так и упругой устойчивости служит минимальное значение лимитирующего фактора, вызывающее их потерю, а мерой резистентности, наиболее адекватной ее изначальному определению, должно служить именно постоянство значений количественных характеристик во времени. По мнению автора, более эффективно использование количественных показателей, учитывающих не фиксированные значения количественных характеристик биосистем и не строгий ход временных изменений, а степень их варибельности за период наблюдений.

Обсуждая возможности оценки различных форм устойчивости с использованием их интегральных количественных характеристик, автор упоминает о моделировании устойчивости. Преимуществом модельного подхода, по мнению В.Ф. Шуйского, является снятие упомянутого нереалистического критерия – ожидания постоянства рассматриваемых количественных характеристик биосистем и замена его более правдоподобным критерием – постоянством режима, в котором флуктуируют значения характеристик. Для моделирования и оценки устойчивости по интегральным количественным характеристикам биосистем часто используется понятие странного аттрактора, при этом учитывают, что система с детерминированной динамикой может обладать случайным поведением, и ограничивают исследование поиском и описанием самого аттрактора.

Автором показано, что наиболее обоснованной мерой устойчивости к воздействию на какую-либо биосистему является такой уровень воздействия, при котором вызываемые им изменения теряют обратимость. «Обратимость последствий воздействия, безусловно, лучше оценивать эмпирически, а не путем «принудительной» экстраполяции на биосистемы свойств неживых или гипотетических, модельных систем», – утверждает автор. Несмотря на это, модель устойчивости Шуйского, названная автором «простой и универсальной формулой количественной оценки устойчивости», по своей сути является такой гипотетической моделью и лишь характеризует принадлежность биосистемы (бентоценоза) по совокупности факторов к области состояния ( $n$ -факторного гиперпространства), ограниченной критическими точками.

В качестве структурных характеристик устойчивости обычно приводятся видовое богатство и разнообразие, видовое своеобразие, сложность, степень иерархичности, которые часто считаются приоритетными при оценке устойчивости биосистем надорганизменного ранга. Поскольку высокое разнообразие сообществ реализуется преимущественно в относительно стабильных условиях среды, постольку находилось и подтверждение прямой зависимости устойчивости сообществ от их сложности и высокого разнообразия. Такие выводы еще недавно считались традиционными в экологии, при этом преувеличивалась системная организация сообществ и экосистем в целом. Позднее было рекомендовано учитывать количество реально действующих обратных связей в системах, реализованную долю потенциальных связей между экологическими компонентами и другие параметры. Сукцессионное усложнение сообществ – вынужденное, обусловленное, преимущественно, обострением межвидовой и внутривидовой конкуренции за ограниченные пространства и пищевые ресурсы. Поэтому устойчивость реальных экосистем и сообществ к внешнему дестабилизирующему воздействию на самом деле редко возрастает в связи с увеличением их видового разнообразия и количества межвидовых связей. Обычно же устойчивость к воздействию в обеих ее формах при росте видового разнообразия, наоборот, закономерно уменьшается, так как возрастает вероятность потери в результате этого воздействия наиболее уязвимых видов сообщества или межвидовых связей по мере увеличения их количества.

По поводу этих выводов автора В.В. Дмитриевым (2004) отмечается, что:

– сукцессионное развитие сообществ только до определенного предела связано с сукцессионным усложнением;

– устойчивость реальных экосистем нельзя оценивать по отношению к абстрактному внешнему дестабилизирующему воздействию. В той же мере, в какой биолог озабочен выделением типов устойчивости биосистем, при эколого-географической оценке необходимо учитывать тип воздействия на экосистему и устойчивость к воздействию данного типа. Таким образом, дополнительное поступление в водоем, например биогенов, никак не скажется на изменении устойчивости водной геосистемы к изменению параметров гидрологического режима или устойчивости к изменению физико-географических (морфологических) особенностей водоема. В то же время значительное поступление биогенов неизбежно изменит

устойчивость к режиму продуцирования органического вещества в водоеме (антропогенному эвтрофированию);

– устойчивость к изменению видового разнообразия максимальна для наиболее разнообразных по видовому обилию экосистем. При снижении видового разнообразия в системе будет снижаться и устойчивость к его изменению. Устойчивость к воздействию необходимо оценивать по репрезентативному критерию оценки типа воздействия на экосистему, а не по изменению видового разнообразия в ней, как некоторого «универсального» критерия. В одних случаях этот параметр пригоден для оценки воздействия, в других – нет. Поскольку с загрязнением или эвтрофированием водной экосистемы после достижения экологического благополучия видовое разнообразие в ней снижается, то снижается и устойчивость к его изменению, но возрастает устойчивость к загрязнению или эвтрофированию системы.

## **2.4. Оценка устойчивости водных объектов на основе балльно-индексного подхода**

Как уже отмечалось ранее, опыт балльно-индексной оценки устойчивости наземных геосистем и водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов был опубликован ВНИИ Природы (Москва) в сборнике «Оценка состояния и устойчивости экосистем». Оценка устойчивости и уязвимости водоемов к изменению параметров режимов долгое время разрабатывалась на основе балльно-индексного метода, в основу которого были положены различные классификации А.М. Владимирова, В.В. Снакина, А.Л. Ресина, В.В. Дмитриева и др.

Авторский опыт в разработке подходов к оценке устойчивости водных объектов на основе построения сводных показателей устойчивости обобщен В.В. Дмитриевым (2004). Там же приводятся основные определения, связанные с устойчивостью водных объектов. Кроме того, показано, что в условиях работы с неполной, неточной и нечисловой информацией и неопределенностью суждений о приоритетах оценивания целесообразно применение новых методических подходов и моделей для оценки устойчивости геосистем и водных объектов.

В настоящем разделе работы речь пойдет о возможности оценки устойчивости (*уязвимости*) водоема по физико-географическим, климатическим условиям и параметрам его гидрологического,

гидрохимического и гидробиологического режимов к внешним воздействиям на основе балльно-индексного метода.

Важно уяснить, что *уязвимая водная* экосистема при антропогенном или техногенном воздействии на нее может достаточно быстро деградировать и потерять присущие ей уникальные природные свойства. *Слабо уязвимая* экосистема может достаточно долго противостоять внешнему воздействию, проявляющемуся в изменении параметров режимов водного объекта и тем самым быть устойчивой к внешним воздействиям и нагрузкам. При этом высокая устойчивость экосистемы не должна ассоциироваться у исследователя с ее экологическим благополучием, хотя уязвимость (устойчивость) водной экосистемы может учитываться (как параметр) при оценке степени ее благополучия. Как мы увидим, повышенной *уязвимостью к эвтрофированию* обладают небольшие по величине и (или) низкопродуктивные экосистемы водоемов; повышенной *уязвимостью к загрязнению* обладают небольшие по величине и (или) сравнительно чистые экосистемы. И наоборот, повышенной *устойчивостью к эвтрофированию* обладают крупные и (или) высокопродуктивные экосистемы водоемов, находящиеся в оптимальных условиях формирования водности; повышенной *устойчивостью к загрязнению* обладают крупные и (или) высокозагрязненные экосистемы или экосистемы, находящиеся в оптимальных условиях формирования качества воды. Таким образом, *слабо уязвимыми* к изменению какого-либо свойства могут оказаться экосистемы *уже в значительной степени обладающие (наделенные) этим свойством*. Именно поэтому устойчивыми к загрязнению могут оказаться грязные экосистемы, а устойчивыми к эвтрофированию – эвтрофные и гиперэвтрофные экосистемы, это и не позволяет назвать их экологически благополучными.

Оценка устойчивости или уязвимости к изменению свойств экосистемы в данном подходе не сводится только к учету одного какого-либо свойства. Она получается как результат учета *многих свойств*, характеризующихся большим набором параметров оценивания, среди которых физико-географические и климатические условия и характер антропогенного воздействия являются определяющими. Исследование этих свойств и их изменчивости расширяет кругозор исследователя, обуславливает необходимость формирования у него эколого-географического мышления в отношении неадеквативных параметров водных экосистем.

Необходимо также заметить, что уязвимость (устойчивость) водных экосистем *циклического* (озера, слабопроточные водоемы, пруды) и *транзитного* (реки, сильно проточные водоемы) типов обусловлена разными природными механизмами. Устойчивость первого типа можно назвать «адаптационной», устойчивость второго типа – «регенерационной». Если в первом случае важнейшим свойством природной системы является ее способность *сохранять* исходное состояние или *плавно переходить* в другое состояние, сохраняя при этом внутренние связи (*инертность, пластичность*), то во втором случае на первое место выходит способность системы многократно *восстанавливать* свои свойства, возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия (*восстанавливаемость*). К этому можно добавить, что биотические и абиотические составляющие экосистемы по механизмам устойчивости также различаются между собой. Устойчивость первых достигается физико-механическими и химическими процессами переноса, разбавления, сорбции, миграции вещества; устойчивость вторых обусловлена способностью адаптации организмов к воздействию, как в результате внутренней резистентности биохимической организации, так и за счет способности к биохимическому разложению токсичных соединений и изменению удельных скоростей обменных процессов в экосистеме под влиянием воздействия.

Параметры уязвимости и устойчивости водных экосистем объединены нами в *экспертную балльно-индексную систему*, которая учитывает региональные особенности водных объектов и дает возможность в пределах изменения заложенных в них параметров, провести сравнительную оценку уязвимости водных экосистем к воздействию. Если свойства водного объекта различаются по пространству и это дает основание говорить о физико-географическом, гидрологическом, гидрохимическом и гидробиологическом районировании в пределах определенной территории (акватории), то можно провести зонирование водосборной территории или акватории водоема по баллам уязвимости (устойчивости) и выделить наиболее уязвимые и устойчивые его районы.

Оценка уязвимости водоемов к *антропогенному эвтрофированию* и к загрязнению проводится путем последовательного суммирования индексов для соответствующих признаков оценивания, разрядов и баллов по таблицам; получения суммарной балльной оценки и нахождению в итоге класса и подкласса уязвимости водоема (таблицы 2.1–2.7). Таким образом, сначала необходимо

последовательно просуммировать индексы (таблицы 2.1–2.3), затем разряды, в соответствии с примечаниями к каждой таблице. После этого по сумме разрядов (таблица 2.4) найти баллы уязвимости (семейство уязвимости), прибавить к ней баллы трофности или баллы качества вод (род уязвимости) и по полученной сумме баллов найти класс и подкласс уязвимости водоема (комбинация семейств и родов). Уязвимость по антропогенному эвтрофированию и по качеству воды (загрязнению) необходимо оценивать отдельно, не смешивая эти понятия.

Рассмотрим подробно этапы оценивания. Сначала находим значения индексов (1; 2; 3 или 4) по каждому из трех признаков по таблице 2.1, суммируем все три найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по физико-географическим и морфометрическим признакам.

**Таблица 2.1. Классификация водоемов по физико-географическим и морфометрическим признакам**

Признак \ Значение индекса	1	2	3	4
Площадь поверхности, км <sup>2</sup>	> 1000	1000–100	100–10	< 10
Объем, км <sup>3</sup>	> 10	10–1,1	1,1–0,5	< 0,5
Макс. глубина, м	> 50	50–10	10–5,0	< 5,0

*Примечание.* Водоем с суммой индексов от 3 до 4 относится к 1 разряду, от 5 до 7 – к 6 разряду, от 8 до 11 – к 11 разряду, от 11 до 12 – к 15 разряду.

Затем находим значения индексов (1; 2; 3; 4 или 5) по каждому из трех признаков по таблице 2.3, суммируем все три найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по первой группе гидрологических признаков (уровенный и температурный режимы).

**Таблица 2.2. Классификация водоемов по гидрологическому режиму (уровенный и температурный режим)**

Признак \ Значение индекса	1	2	3	4	5
Колебание уровня, м	< 3	3–4	4–5	5–6	> 6
Средняя температура воды в летний период, °С	> 20	20–18	18–16	16–14	< 14
Продолжительность ледостава, мес.	> 5	5–4	4–3	3–2	< 2

*Примечание.* Водоем с суммой индексов от 2 до 4 относится к 1 разряду, от 5 до 7 – к 2 разряду, от 8 до 11 – к 3 разряду. За температуру воды принимают среднюю из суточных величин за летний период для типичного по климатическим условиям года.

После этого находим значения индексов (1; 2 или 3) по каждому из пяти признаков по таблице 2.3, суммируем все пять найденных значения индекса и по примечанию к таблице находим разряд водоема по второй группе гидрологических признаков (условия водообмена).

Затем суммируем полученные по таблицам 2.1–2.3 разряды и входим в левую часть таблицы 2.4 (семейство уязвимости). Полученной сумме разрядов здесь ставится в соответствие определенное количество баллов. Запоминаем их для дальнейших расчетов.

Обращаем внимание на то, что *класс* водоема в таблице 2.4 обозначен римской цифрой, он отражает физико-географические особенности водоема (см. таблицу 2.1). *Подкласс* водоема обозначен большими буквами «А» и «Б», он отражает *оптимальность условий формирования водности и качества воды*. Оптимальными условиями являются не экстремальные условия (см. таблицы 2.2 и 2.3), для которых сумма разрядов может быть наименьшей («А»), а *наиболее благоприятные* для формирования водности и качества воды промежуточные условия («Б»). Водоемы с благоприятными условиями формирования будем считать менее уязвимыми (более устойчивыми) по сравнению с водоемами с неблагоприятными условиями, поэтому в таблице 2.4 им ставится в соответствие меньшее количество баллов. Чем меньшее количество баллов получено на данном этапе, тем менее уязвима экосистема.

На следующем этапе необходимо получить баллы трофности (оценка устойчивости (уязвимости) по антропогенному эвтрофированию) или баллы качества воды (оценка устойчивости (уязвимости) к загрязнению). Для этого в первом случае необходимо установить трофический статус водоема, а во втором случае качество его воды.

При оценке трофического статуса необходимо помнить, что основным критерием для оценки трофности служит первичная продукция в водоеме. Содержание хлорофилла, прозрачность воды, концентрация общего фосфора и азота и др. являются коррелятивными параметрами оценивания. Для оценки качества воды можно воспользоваться классификациями качества воды. Трофность или качество воды оценивается покомпонентно или на многокритериальной (интегральной основе) основе с указанием, по какому (каким) критериям они выполнялись. После этого снова входим в таблицу 2.4 (род уязвимости по трофическому статусу или по качеству воды) и по трофическому статусу или качеству воды выбираем



**Таблица 2.3. Классификация водоемов по гидрологическому режиму (условиям водообмена)**

Признак	Значение индекса		
	1	2	3
Наличие сезонной стратификации	Да	Слабое развитие	Нет
Вертикальное перемешивание (количество раз за год)	< 2	2	> 2
Условия проточности	Бессточный	Сточный	Проточный
Характер регулирования стока	Многолетнее	Сезонное	Недельное или суточн.
Водообмен в год	< 0,1	0,1–5,0	> 5,0

*Примечание.* Водоем с суммой индексов равной 5 относится к 1 разряду, от 6 до 8 – ко 2 разряду, от 9 до 14 – к 3 разряду.

**Таблица 2.4. Балльная оценка устойчивости водоемов по физико-географическим, гидрологическим свойствам, трофности или качеству воды**

Семейство устойчивости			Род устойчивости по трофическому статусу или по качеству воды		Основные комбинации семейств и родов для отмеченных (*) баллов трофии или качества			
Обозначение	Сумма разрядов	Баллы	Трофность. Качество воды	Баллы трофности. Баллы качества воды	Обозначение	Сумма баллов	Обозначение	Сумма баллов
IA	3–5	8	1. Гиперэвтрофный и эвтрофный *)	1	IB1	5	IIIB1	16
IB	6–9	4	2. Эвтрофный-мезотрофный	3	IB2	9	IIIB2	20
IIA	10–11	13	3. Мезотрофный *)	5	IB3	19	IIIB3	30
IIIB	12–14	10	4. Мезотрофный-олиготрофный	8	IA1	9	IIIA1	19
IIIA	15–16	18	5. Олиготрофный *)	15	IA2	13	IIIA2	23
IIIB	17–19	15			IA3	23	IIIA3	33
IVA	20–21	22	1. Очень грязная и грязная *)	1	IIIB1	11	IVB1	21
IVB	22–23	20	2. Загрязненная	3	IIIB2	15	IVB2	25
			3. Умеренно загрязненная *)	5	IIIB3	25	IVB3	35
			4. Чистая	8	IIA1	14	IVA1	23
			5. Очень чистая *)	15	IIA2	18	IVA2	27
					IIA3	28	IVA3	37

соответствующие им баллы (от 1 до 15). Складываем их с баллами, полученными ранее, и выясняем итоговое число баллов.

В таблице 2.5 приводятся результаты обобщения комбинаций и граничные значения баллов между классами устойчивости с учетом того, что первый класс характеризуется максимальной устойчивостью (минимальной уязвимостью), а последний класс – минимальной устойчивостью (максимальной уязвимостью).

Еще раз заостряем внимание на том, что при получении выводов о степени устойчивости (уязвимости) водоема не следует отождествлять устойчивость с экологическим благополучием водной экосистемы. При высоком загрязнении или сильной антропогенной эвтрофикацией водоема он может оказаться достаточно устойчивым к антропогенному воздействию за счет незначительного количества баллов по роду уязвимости, но это не свидетельствует о его благополучии.

**Таблица 2.5. Классы устойчивости и уязвимости водоемов**

Класс устойчивости	Класс уязвимости	Сумма баллов	Обозначения основных комбинаций семейств и родов для отмеченных (*) баллов трофии или качества
I (максимальная)	I (минимальная)	5–11	IB1, IB2, IA1, IB1
II	II	13–16	IA2, IIА1, IIБ2, IIБ1
III	III	18–23	IB3, IA3, IIБ2, IIА2, IIIА1, IIIА2, IVБ1, IVA1
IV	IV	25–28	IIБ3, IIА3, IVБ2, IVA2
V (минимальная)	V (максимальная)	30–37	IIIБ3, IIIА3, IVБ3, IVA3

Устойчивость водных объектов к изменению параметров естественного режима определяется морфометрическими особенностями водного объекта, физико-географическими и климатическими условиями, гидрологическим режимом.

Анализ изменения параметров антропогенного режима способствует выявлению устойчивости к антропогенному эвтрофированию или устойчивости к изменению качества воды.

В целом, как показали эксперименты (Примак, 2009; Примак, 2019), наиболее высокой устойчивостью к изменению параметров естественного режима обладают крупные водные объекты, находящиеся в оптимальных условиях формирования водности, а высокой устойчивости к эвтрофированию или загрязнению высокопродуктивные или сильно загрязненные водные объекты.

## **2.5. Многокритериальная оценка устойчивости к естественному и антропогенному воздействиям**

Построение интегральных показателей оцениваемого неаддитивного свойства основывается на методе сводных показателей (МСП), общая структура которого была разработана А.Н. Крыловым еще в 1908 г. Методика многокритериального оценивания, как и любая другая, требует формулирования ясных источников своего происхождения. Они могут являться дополнительным подтверждением правильности самой методологии.

Исторически первым исследователем, обосновавшим необходимость построения интегральной оценки и применившим на практике «сравнительную оценку» сложных систем (военных проектов) был полковник Генерального Штаба, выдающийся русский кораблестроитель, академик А.Н. Крылов. В мае 1905 г. Россия потеряла на дне Цусимского пролива практически весь Балтийский флот. Было необходимо построить новый. Но какой? До русско-японской войны специалисты-кораблестроители считали, что русские корабли лучше японских. Действительно, в Цусимском бою японские снаряды не пробивали броню русских кораблей, японская же броня не служила препятствием для огня русской корабельной артиллерии. Японские снаряды разрушали надстройки кораблей и вызывали пожары, русские же не взрывались вовсе. Стало очевидным, что одних даже таких важных показателей, как прочность брони и кинетическая энергия снаряда явно недостаточно для правильной оценки качества такого сложного технического сооружения, каким является военный корабль. А.Н. Крылов разработал методику многокритериальной оценки. Для выбора оптимального проекта военного корабля он использовал несколько сотен параметров. И в дальнейшем теория многокритериального оценивания в основном развивалась для оборонных нужд. Но вот наступили времена конверсии – и коллектив лаборатории моделирования и диагностики геосистем НИИ Географии Санкт-Петербургского государственного университета творчески применил разработанную профессором факультета прикладной математики СПбГУ Н.В. Ховановым систему анализа и синтеза показателей при информационном дефиците для многокритериальной оценки экологического состояния территории Санкт-Петербурга. Значительное преимущество этой системы состоит в том, что она позволяет работать с неполной, неточной и нечисловой информацией.

Необходимо отметить сложность применения аппарата нечетких множеств при экологических исследованиях состояния окружающей человека природной и городской среды. При всем многообразии принимаемых во внимание характеристик военной техники критерий ее оптимальности довольно прост: максимум урона противнику при минимуме собственных потерь. Правильность рандомизации параметров военной техники определяется практически моментально при ее использовании в военном конфликте. Другое дело – определение экологического состояния и благополучия среды. Здесь правильность расстановки приоритетов может быть выяснена лишь за значительный период времени. Разумеется, как и с военной техникой, лучше не ошибаться, ибо ошибки здесь также ведут к человеческим потерям, уже не от огня противника, а от вызванных деградацией окружающей среды экономических кризисов, болезней, отравлений и др. Естественно, что устойчивое благоприятное для жизни и деятельности человека состояние окружающей среды является необходимым условием для его комфортного проживания, это главный критерий при оценке состояния городской среды.

При получении интегральной оценки А.Н. Крылову пришлось решать следующие вопросы: 0 – какие качества объекта влияют на оценку его сравнительного достоинства; 1 – каким числом каждое качество оценивается; 2 – какой способ группировки этих чисел принимается; 3 – какие относительные множители приписываются тем качествам, которым отдается предпочтение. Ответы на эти вопросы определяют основные этапы построения сводных показателей. Они предполагают: 0 – формирование вектора исходных характеристик, каждая из которых необходима, а все они вместе достаточны для полного оценивания исследуемого объекта; 1 – формирование вектора отдельных показателей, оценивающих различные аспекты исследуемого объекта; 2 – выбор вида синтезирующей функции, сопоставляющей вектору отдельных показателей сводную оценку, характеризующую исследуемый объект в целом; 3 – определение значения вектора параметров, обычно интерпретируемых как весовые коэффициенты.

Все эти вопросы относятся к области квалиметрии, которую можно считать первым основанием методики многокритериального оценивания. Саму квалиметрию можно определить как область науки об измерении и управлении качеством продукции и услуг.

В настоящее время в рамках квалиметрии разработан широкий спектр математических моделей синтеза обобщенных оценок

качества, позволяющих оценивать все многообразие социально-экономических благ.

Вторым основанием методики сводного показателя является теория функций полезности. К настоящему времени накоплено множество математических моделей, позволяющих строить функции, оценивающие полезность различных наборов хозяйственных благ. Сводные оценки при этом могут иметь как числовой («кардинальная полезность»), так и нечисловой («ординальная полезность») характер.

Третье основание описываемого подхода – это теория экономических индексов, оценивающих единым числом многопараметрические объекты и явления. Следует отметить, что именно в рамках теории построения индексов начался систематический сравнительный анализ синтезирующих функций различного вида.

Вышеупомянутые основания многокритериального оценивания позволяют естественным образом разделить процесс оценивания на три этапа (при условии, уже произведен отбор экологических характеристик): 1) задание отдельных показателей, 2) выбор синтезирующей функции, 3) определение весовых коэффициентов. Однако в силу вышеупомянутых неопределенностей, возникающих при оценке, реализация каждого из этапов бывает затруднительна.

Для преодоления этих трудностей были сформулированы и реализованы следующие три принципа:

1) принцип линеаризации, позволяющий переходить от частично упорядоченного по предпочтительности множества векторов отдельных показателей объектов к линейно упорядоченному множеству сводных оценок этих объектов;

2) принцип арифметизации, позволяющий получать числовые оценки для исходной нечисловой информации, на основании которой строятся показатели и определяются весовые коэффициенты;

3) принцип рандомизации, позволяющий моделировать дефицит информации, обычно существующий на всех этапах синтеза сводных оценок сложных многопараметрических объектов.

Эти принципы составляют теоретическую основу методики многокритериального оценивания и нашли свое практическое отражение в методе построения сводных показателей.

Данный метод хорошо зарекомендовал себя как инструмент построения интегральных показателей, синтезирующих информацию о различных свойствах водных экосистем.

Применение данного метода сопряжено с реализацией следующих этапов:

- обоснование и выбор репрезентативных критериев и уровней оценивания;
- нахождение градаций оценочных шкал и набора классов состояний изучаемого объекта;
- выбор вида интегрального показателя для свертки информации;
- выбор нормирующих функций и проведение процедуры нормирования исходных параметров;
- установление приоритетов (весов) для оценочных критериев и уровней;
- выполнение первого и последующих уровней обобщения информации для разработанных классификаций, получение оценочных шкал для интегральных показателей;
- формирование мониторинговой информационной базы оценочных исследований;
- построение интегральных показателей на основе созданной информационной базы натуральных данных.

На первом этапе отбирается обоснованная система критериев состояния биоты и абиотической среды, при использовании которых возможно диагностирование экологического состояния водной экосистемы. При этом нужно стремиться к тому, чтобы каждый из параметров был необходим, а все параметры вместе были достаточны для описания качества (свойства) рассматриваемой системы. При этом могут существовать характеристики, увеличение значений которых приводит к улучшению значения качества или свойства экосистемы (первый тип), а также характеристики, увеличение значений которых приводит к его ухудшению (второй тип). Кроме того, возможно существование характеристик, критические значения которых (например, значение  $pH = 7,0$ ) разбивают шкалу изменений характеристики на два интервала с противоположными свойствами влияния переменной на состояние объекта.

Одновременно с введением признаков (критериев) оценивания вводятся классы состояния устойчивости, благополучия, риска. В связи с этим стоит обратить внимание на существующие классификации. Всегда легче опираться на существующие классификации, чем вводить свои, но иногда просто необходимо бывает формировать авторские классификации для оценки состояния экосистем или различных их свойств. Иногда выбор существующей классификации обусловлен наличием ГОСТа на оценочные шкалы.

На данном этапе всегда полезно проанализировать шкалы изменения параметров по классам состояния. Затем вводим левую и правую границы для всех исходных характеристик, хотя заметим, что данная процедура не является строго обязательной. Можно также работать только с граничными (между классами) значениями характеристик.

На втором этапе с помощью несложных преобразований осуществим переход к безразмерной форме исходных характеристик так, чтобы наилучшим условиям по каждому критерию соответствовало значение равное 0, а наихудшим, равное 1 (можно наоборот). Такое преобразование выполним следующим образом.

Для критериев первого типа введено правило перевода в виде:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left( \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^\lambda, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2.8)$$

Для критериев второго типа введено правило перевода в виде:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left( \frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^\lambda, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i, \end{cases} \quad (2.9)$$

где  $q$  – нормированное значение параметра;  $x_i$  – текущее значение критерия;  $\max_i(\min_i)$  – максимальное (минимальное) встречающееся значение критерия;  $\lambda$  – параметр, определяющий конкретный вид: ( $\lambda < 1$  – выпуклость вверх,  $\lambda > 1$  – выпуклость вниз) функций (2.8) и (2.9).

Особенно просто построение нормирующих кусочно-линейных функций, получается при подстановке в формулы (2.8), (2.9) значения параметра  $\lambda = 1$ . Далее мы будем использовать именно такие простейшие нормирующие функции, учитывая, что выбор линейной функции для нормирования всегда может быть оправдан на первом этапе исследования.

Диапазон изменения  $q_i$  всегда находится в пределах от 0 до 1. Таким образом, исходные параметры в различных шкалах измерения (абсолютные и средние величины в конкретных единицах

измерения, относительные или балльные оценки и т.п.) приводят-ся к единой безразмерной шкале, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя. Зададим минимальные и максимальные значения параметров. Для этого, как правило, используются мини-мальное и максимальное значения из каждой оценочной шкалы ис-ходных характеристик.

В качестве *min* в практике оценочных исследований может при-ниматься нулевое значение характеристики, а также фоновое, пре-дельно допустимое (ПДК) и др. В каждом случае это особо огово-ривается в работе.

В качестве *max* не всегда целесообразно использовать пра-вое значение  $x_i$  последнего класса (прямая связь характеристики с оцениваемым свойством). Часто это значение достаточно велико и редко достижимо на практике. Кроме того, при его использова-нии в качестве *max* в последний класс может попасть 40–60 % всей оценочной шкалы. В этом случае в качестве *max* можно ввести не абсолютный максимум характеристики, а «региональный макси-мум» (значительно меньший абсолютного) или задать *max* с учетом изменения по классам величины  $\Delta x_i$  (например, как в предыдущих классах). Так, например, используя оценочную шкалу прозрачности воды, в качестве *max* не обязательно выбирать абсолютно большую прозрачность (Саргассово море, прозрачность 64 м), а можно взять максимальное региональное значение для района исследования.

На *третьем этапе* выбирается вид интегрального показателя  $Q(q, w)$ . Комплексный показатель строится таким образом, что зави-сит не только от показателей  $q_i$ , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами  $w_i$ , сумма которых должна равняться 1,0 ( $0 \leq w_i \leq 1$ ). В качестве выражения для интегрального показателя чаще всего используется линейная свертка показателей вида:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n q_i w_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.10)$$

где  $n$  – число критериев оценивания;  $q_i$  – нормированное значение параметров;  $w_i$  – вес параметра.

Функция (2.10) часто использовалась в качестве основной синтезирующей функции в работах Н.В. Хованова (1996, 1998); В.В. Дмитриева (2000).

На *четвертом этапе* вводятся оценки весовых коэффициен-тов  $w_i$ . Как правило, уже само составление программы оценочных



исследований является первичным «взвешиванием» параметров, компонентов и их свойств. Однако такое взвешивание оказывается недостаточным, так как влияние отобранных главных факторов также неравнозначно, что вызывает необходимость придавать при оценке различным параметрам (свойствам, компонентам) разные приоритеты, веса или коэффициенты значимости. Нередко при этом вес вводится без какого-либо четкого обоснования. Чаще всего применяются следующие способы учета «веса» отдельных критериев экологического состояния и качества природной среды: вес каждого из отобранных параметров принимается равным; вес наиболее важных параметров увеличивается или вес второстепенных показателей уменьшается в условное число раз; вес определяется с помощью мнений экспертов; вес каждого показателя определяется с помощью дополнительных расчетов.

В самом простом случае, при равенстве весов исходных параметров, вес определяется простой формулой:

$$w_i = 1/n, \quad (2.11)$$

где  $n$  – число критериев оценивания.

На *пятом этапе* для левой и правой границ каждого класса по утвержденным правилам рассчитывается значение  $Q$ .

На *шестом этапе* по собранным данным определяются значения интегрального показателя для ключевой территории (акватории).

Положительным свойством интегральных показателей является их представление в числовой форме с последующей их временной или пространственной визуализацией средствами ГИС. Такой подход позволяет проследить изменение вектора состояния (устойчивости, благополучия) водной экосистемы, как между классами, так и в пределах одного класса, оценить последствия различных управленческих решений, связанных с изменением параметров режимов водоемов.

### **3. Экологическое нормирование водных экосистем**

Природная вода – это раствор многих веществ, в том числе солей, газов, а также веществ органического происхождения, некоторые из них находятся во взвешенном состоянии. В большинстве

случаев природная вода имеет атмосферное происхождение (дождевая вода), реже – глубинное (конденсация паров, поднимающихся из недр Земли). Состав грунтовых, озерных, речных, морских и океанских вод изменяется в широких пределах в зависимости от состава почв, пород, растительного мира, с которыми вода контактирует.

Концентрация конкретных примесей в воде характеризует ее свойства, совокупность которых и определяет качество самой воды. Показатели качества воды обычно подразделяют на физические (температура, цветность, взвешенные вещества, запах, вкус и др.), химические (жесткость, активная реакция, окисляемость, сухой остаток и др.), биологические (гидробионты) и бактериологические (общее количество бактерий, коли-индекс и др.).

Рассмотрение химических процессов в гидросфере – задача очень сложная, более сложная, чем изучение процессов в атмосфере. Причина заключается в том, что природная вода представляет собой систему открытого типа, обменивающуюся веществами и энергией с сопредельными средами: атмосферой, литосферой, биологической составляющей.

Существует несколько классификаций химического состава природных вод. Так, в *гидрохимии компоненты химического состава природных вод делятся на шесть групп.*

1. Главные ионы (макрокомпоненты), к которым относятся  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ . Интересно отметить, что в открытом океане, независимо от абсолютной концентрации, соотношение между главными компонентами основного солевого состава остается примерно постоянным.

2. Растворенные газы:  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  и др. Концентрация газов в воде определяется их парциальным давлением и законом Генри.

3. Биогенные вещества (продукты жизнедеятельности организмов), главным образом, неорганические соединения азота и фосфора. Их концентрация в пределах пресных поверхностных вод изменяется в очень широких пределах: от следов до 10 мг/л. К биогенным элементам относятся также соединения кремния, находящегося в воде в виде коллоидных или истинно растворенных форм мета- и орто-кремниевой кислот ( $H_2SiO_3$  и  $H_4SiO_4$ ), соединения железа, в основном в форме микроколлоидных гидроксидов железа или органических комплексов.

4. Растворенные органические вещества (РОВ), то есть органические формы биогенных элементов. Эта группа включает

практически все классы органических соединений. Средний элементный состав РОВ природных вод соответствует химической формуле  $C_{13}H_{17}O_{12}$ . В эту группу входят вещества, придающие воде запах и цвет.

5. Микроэлементы. В эту группу входят все металлы, кроме главных ионов, а также анионы. Например:  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и другие ионы переходных металлов; анионы  $F^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$  и другие, которые встречаются в природных водоемах в очень малых концентрациях.

6. Живая биомасса бактерий и микроорганизмов.

Существует и другая классификация, предложенная Л.А. Кульским, основанная на фазовом состоянии и дисперсности примесей, содержащихся в воде. По этой классификации выделяют четыре группы примесей.

К *примесям первой группы* относятся образования, попадающие в воду вследствие эрозии слагающих ложе водоема пород и смыва с поверхности почв. Они представляют собой нерастворимые в воде суспензии, планктон и бактерии, кинетически неустойчивые и находящиеся во взвешенном состоянии благодаря гидродинамическому воздействию водного потока.

*Примеси второй группы* представляют собой гидрофильные органические и минеральные коллоидные частицы, вымываемые водой из грунтов, а также нерастворимые и недиссоциированные формы гумусовых веществ, детергенты и вирусы, которые по своим размерам близки к коллоидным частицам.

К *примесям третьей группы* относят молекулярно-растворимые вещества: органические соединения, растворимые газы и т.п. Между ними под действием сил Ван-дер-Ваальса может происходить образование ассоциатов.

*Примеси четвертой группы* – это вещества, диссоциирующие на ионы. В результате процесса гидратации кристаллическая структура этих веществ разрушается. Следует отметить, что устойчивость образующихся при этом в результате гидролиза гидроксидов металлов прямо пропорциональна их заряду и обратно пропорциональна их радиусу.

Из природных вод человек чаще всего сталкивается с так называемыми *поверхностными природными водами*. Последние характеризуются большим содержанием нерастворимых веществ и, в частности, органических соединений. Помимо частиц песка и глины они содержат лёсс, илистые вещества, различные карбонаты, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, гидроксиды алюминия,

марганца, железа, высокомолекулярные органические примеси гумусового происхождения (иногда в виде органоминеральных комплексов), планктон и др. Содержание взвешенных частиц в поверхностных водоисточниках изменяется от нескольких единиц до десятков тысяч на литр.

За счет антропогенной деятельности в химический состав природных вод можно внести еще одну разновидность соединений – это токсичные загрязняющие вещества: тяжелые металлы, нефтепродукты, хлорорганические соединения, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолы и т.д. При хлорировании природной воды в ней могут также образоваться диоксины.

### **3.1. Источники и виды загрязнения поверхностных вод суши**

Под загрязнением (Реймерс Н.Ф., 1990) понимается привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно нехарактерных для нее физических, химических, информационных или биологических агентов, или превышение в рассматриваемое время естественного среднесуточного уровня (в пределах его крайних колебаний) концентрации перечисленных агентов в среде, приводящее к негативным последствиям.

Также под загрязнением понимается увеличение концентрации физических, химических, информационных и биологических агентов сверх недавно наблюдавшегося количества (например, помутнение речных вод после дождя). В наиболее общем виде загрязнение – все то, что не в том месте, не в то время и не в том количестве, что естественно для природы, выводит ее системы из состояния равновесия, отличается от обычно наблюдаемой нормы и/или желательного для человека. Загрязнение может быть вызвано любым агентом, в том числе самым «чистым» (например, лишняя по отношению к природной норме вода в экосистеме суши – загрязнитель). Загрязнение может возникать в результате естественных причин – природное и под влиянием деятельности человека – антропогенное (которое обычно и имеется в виду при обсуждении проблем загрязнения). Уровень загрязнения контролируется ПДК, ОБУВ, другими нормативами.

Загрязнитель (и) – загрязняющее вещество, любой (природный и антропогенный) физический агент, химическое вещество и биологический вид (главным образом микроорганизмов),

попадающие в окружающую среду или возникающие в ней в количествах, выходящих за рамки обычного содержания, предельных естественных колебаний или среднего природного фона в рассматриваемое время. Также под загрязнителем понимаются те же агенты, вещества и организмы, находящиеся в окружающей среде в количествах, превышающих желательные для каких либо-целей (например, для некоторых производств требуется химически чистая вода, лишенная всяких естественных примесей, выступающих в данном случае как загрязнитель. Хотя для сельскохозяйственных или бытовых целей такая вода будет считаться свободной от загрязнителя. И наконец, это объект, служащий источником загрязнения среды (предприятие и т.п.).

В российском законодательстве в соответствии с федеральным законом «Об охране окружающей среды» под загрязнением окружающей среды понимается поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду, а загрязняющим веществом – вещество или смесь веществ и микроорганизмов, которые в количестве и (или) концентрациях, превышающих установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов нормативы, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, жизнь, здоровье человека;

Существует несколько классификаций загрязнителей, основанных на различных подходах. Можно разделить загрязнители по воздействию на объекты природы: атмосферу, водный бассейн, почву и недра. Известна также классификация по видам загрязнителей: механические (твердые, жидкие) и физические (тепловые, световые, шумовые). Механические вещества можно классифицировать по агрегатному состоянию: жидкие, твердые, газообразные.

Основными жидкими загрязнителями является нефть и продукты её переработки. При добыче и переработке нефти, при её транспортировке по морю и суше, при авариях танкеров на море и трубопроводов происходит загрязнение:

- атмосферы углеродами;
- почвы нефтью и нефтепродуктами при аварии трубопроводов;
- водных объектов, что приводит к прекращению доступа кислорода вглубь водного объекта и, как следствие, гибели водных животных.

К загрязнителям в твердом состоянии относится пыль, которая образуется при добыче, переработке и транспортировании полезных ископаемых, переработке сыпучих материалов, многих технологических процессах и различных отраслях промышленности, при ветровой эрозии. Последствия загрязнения пылью для человека заключается в том, что при вдыхании воздуха, загрязненного пылью, вызывает заболевания – пневмокониоз, пылевой бронхит. Образование пыли при различных технологических процессах приводит к потере ценного сырья. Пыль загрязняет водные объекты, делая их непригодными или малопригодными для различных видов водопользования. При загрязнении воздуха пылью атмосферы происходит похолодание, т. к. запыленный воздух хуже пропускает ультрафиолетовые лучи. Выпадая на поверхность ледников пыль снижает альбедо (отражательную способность), что может привести к их таянию.

Примерами загрязнителей в газообразном состоянии служат оксид углерода, диоксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, соединения хлора и фтора.

Применяют также классификации по химическому составу загрязнителей. Такие классификации очень сложны и объемны. И наконец, есть классификации по воздействию на человека, животных и растений.

Стоит отметить, что ни одна классификация загрязнителей в чистом виде не может быть использована, так как одни факторы накладываются на другие, одни свойства в разных ситуациях проявляются различно и т.д., поэтому обычно классификации применяются в комбинированном виде.

Загрязняющие вещества поступают в водную среду из естественных и антропогенных источников. К естественным источникам следует отнести вулканическую активность, разрушение горных пород, выделение продуктов жизнедеятельности различных организмов. Надо сказать, что спектр загрязняющих веществ биогенного происхождения разнообразен и необычайно широк. Водные организмы синтезируют разнообразные антибиотики, алкалоиды, галогенсодержащие соединения жирного и ароматического ряда.

К антропогенным источникам относят результаты человеческой деятельности. Интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства, рост народонаселения служат причиной загрязнения водоемов, в них сбрасываются индустриальные, сельскохозяйственные и бытовые стоки. В настоящее время воздействие человека на

природу стало сравнимо со стихийными явлениями. Так, реки за десятилетия искусственно преобразуются больше, чем их меняют естественные процессы за десятки и даже сотни тысяч лет. Антропогенное загрязнение может быть первичным и вторичным. Первичное загрязнение обусловлено ухудшением качества водной среды за счет непосредственных поступлений загрязняющих веществ из антропогенных источников. Вторичное загрязнение вызывается появлением избыточных количеств продуктов жизнедеятельности и остатков гидробионтов, обусловленных нарушением экологического равновесия вследствие первичного загрязнения.

Основными источниками загрязнения водных объектов являются:

- промышленные бытовые сточные воды;
- дренажные воды с орошаемых земель;
- сточные воды животноводческих комплексов;
- организованный (ливневая канализация) сток;
- неорганизованный поверхностный сток с территорий населенных пунктов, промышленных площадок и сельскохозяйственных полей;
- молевой лесосплав;
- водный транспорт;
- твердый сток с эродированных земель;
- глобальный перенос.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) предлагает следующую классификацию видов загрязнения воды.

1. Загрязнение воды бактериями, вирусами, и другими болезнетворными организмами.

2. Загрязнение разлагающимися органическими веществами, которые, поглощая кислород воды, губительно действуют на рыбные запасы, обуславливают появление неприятных запахов и ухудшают эстетические условия – накопление продуктов неполного распада органических веществ (фенолы и т.п.). Такие вещества (если их содержание не достигает слишком высокой концентрации) разрушаются вследствие самоочищения водоемов.

3. Загрязнение воды неорганическими солями, которые не могут быть удалены обычными методами очистки. Они могут делать совершенно непригодной для питья, орошения и для многих процессов производства.

4. Загрязнение органическими солями, которые, в отличие от вышеуказанных веществ, обладают свойствами усиливать рост

макрофитов и вызывать «цветение» водоемов. В процессе фотосинтеза они превращаются в органические вещества, способные осажаться на дне озера.

В настоящее время загрязнение водных объектов токсическими веществам является главным как по масштабам распространения, так и по силе воздействия на гидробионтов. Такие загрязнения представляют опасность и для человека, который употребляет в пищу водные организмы, содержащие повышенные концентрации тяжелых металлов (ртуть, свинец и др.), пестицидов (ДДТ и др.), радиоактивных и других веществ. Источники токсического загрязнения вод различны. Водные объекты аккумулируют токсические вещества, первоначально находившиеся на суше и в воздухе. Поступают они также с бытовыми и промышленными стоками. Из органических веществ большой токсичностью отличаются пестициды, которые широко применяются как в сельском, так и в лесном хозяйстве, в борьбе с кровососущими двукрылыми и переносчиками опасных инфекций, с зарастанием мелиоративных систем и водоемов и в других отраслях народного хозяйства.

В последние годы во многих странах наблюдается тенденция к увеличению использования гербицидов по сравнению с другими группами пестицидов. При обработке пестицидами лесных и сельскохозяйственных угодий с помощью авиации от 25 до 75 % этих препаратов разносится ветром на огромные расстояния, в сотни и тысячи километров. Среди применяемых пестицидов преобладают чрезвычайно стойкие хлорорганические соединения (ДДТ, ГХЦГ и др.), аккумулирующиеся в тканях организмов. Весьма вредны для гидробионтов синтетические моющие средства – детергенты. Они подобно пестицидам отличаются большой биохимической стойкостью.

К числу важных органических токсикантов относится нефть и нефтепродукты. Часто действие других загрязнителей проявляется сильнее на фоне нефтяных загрязнений. Нефть представляет собой многокомпонентное соединение, причем токсичность одних компонентов существенно отличается от токсичности других. Ряд нефтяных фракций, особенно высококипящих, обладает ярко выраженными канцерогенными свойствами. Нефтепродукты обладают исключительной стойкостью, и лишь немногие микроорганизмы способны их разрушать.

Из минеральных соединений наиболее токсичными для гидробионтов являются соединения ртути, мышьяка, свинца, меди,



цинка и др. Основное поступление металлов в водную среду происходит через атмосферу и осадки. Богаты металлами стоки рудников, различных промышленных производств, бытовые сточные воды. Соединения металлов способны сохранять свою токсичность практически бесконечно. Чрезвычайную опасность, прежде всего для человека, представляет поступление в водоемы радионуклидов вместе с отходами атомных судов, электростанций, некоторых производств.

Наконец, одной из своеобразных форм загрязнения водных объектов является тепловое загрязнение в результате сброса в водные объекты нагретых вод, прошедших через системы водяного охлаждения тепловых и атомных электростанций и промышленных предприятий. Расход воды для систем охлаждения очень велик. В США для этих целей используется 4 млн м<sup>3</sup> пресной и морской воды в минуту. Обычно температура сбрасываемых электростанциями и промышленными предприятиями нагретых вод на 5–13 °С выше, чем природных, а в некоторых случаях она может превышать последнюю даже на 14–24 °С. Иными словами, сброс в водные объекты нагретых вод приводит к существенному изменению термического режима на значительных по площади акваториях, уменьшению их насыщенности кислородом, смещению гидрологических сезонов. Изменяется также характер циркуляции вод, нередко увеличивается интенсивность осадкообразования и заиления.

*Нефть.* Загрязнение водных объектов нефтью и различными продуктами ее переработки (бензин, керосин, соляровое масло, мазут и др.) происходит главным образом при транспортировке жидкого топлива и повреждениях нефтепроводов, работе флота, в результате сбросов стоков нефтеперерабатывающих предприятий, смыва нефтепродуктов, загрязняющих сушу. Среднее содержание нефти в пелагиали Финского залива, например, достигает 10–20 мкг/дм<sup>3</sup>. Заметно выше оно в континентальных водоемах. Особую форму нефтяного загрязнения представляют мелкие комочки, в огромном количестве плавающие в толще воды. Комочки становятся субстратом, на котором обильно поселяются бактерии, простейшие и другие организмы, образующие своеобразное перифитонное сообщество.

Образуя на поверхности воды пленку, нефть нарушает дыхание гидробионтов, так как препятствует проникновению кислорода в толщу воды. Растворяющиеся в воде фракции нефти остро токсичны для подавляющего большинства гидробионтов. Опускающиеся

на дно тяжелые фракции склеивают частицы грунта. При сильном загрязнении образуются зоны, практически лишенные жизни, если не считать развивающихся здесь в большом количестве нефтеокисляющих бактерий.

Нефть оказывает токсическое действие на фитопланктон в концентрациях  $10^{-3}$ – $10^{-8}$  (замедление или прекращение деления клеток, снижение первичной продукции). Низшие ракообразные начинают гибнуть при концентрации нефти и ее продуктов около  $10^{-6}$  мг/дм<sup>3</sup>, такова же степень устойчивости икры рыб. Личинки рыб примерно на порядок устойчивее икры, взрослые рыбы выдерживают еще более высокие концентрации. Сравнительно устойчивы к нефтяному загрязнению многие донные животные (мидии, макомы), выдерживающие концентрации до  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  мг/дм<sup>3</sup>. Двустворчатые моллюски, фильтруя морскую воду, освобождают ее от эмульгированной нефти, переводя последнюю в комочки псевдофекалий. Донные растения выдерживают концентрации нефти порядка  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  мг/дм<sup>3</sup>. Примерно та же устойчивость к нефтяному загрязнению у простейших, выносящих концентрации порядка  $10^{-5}$  мг/дм<sup>3</sup>.

Острая токсичность нефти и ее продуктов связана с тем, что углеводороды легко смачивают поверхность гидробионтов и, проникая внутрь, растворяют липоидные фракции клеточных оболочек и мембран, разрыхляют их, изменяют их проницаемость. Разрушая липопротеидные комплексы, входящие в состав клеток, углеводороды изменяют физико-химическое состояние цитоплазмы и нарушают упорядоченность биохимических процессов. Имеются данные о резком воздействии нефти и ее продуктов на генетический аппарат гидробионтов, в частности на содержание в клетках ДНК и РНК. Уменьшение содержания ДНК и РНК у большинства водорослей, вероятно, связано с подавлением биосинтеза нуклеиновых кислот. Влияние нефтяного загрязнения на содержание ДНК и РНК отмечено и для беспозвоночных.

*Пестициды.* Пестициды – явный представитель хлорорганических соединений, которые относятся к группе приоритетных загрязняющих веществ окружающей среды.

Пестицид – вещество (или смесь веществ) химического либо биологического происхождения, предназначенное для уничтожения вредных насекомых, грызунов, сорняков, возбудителей болезней растений и животных, а также используемое в качестве дефолианта, десиканта и регулятора роста. Пестициды – общепринятое в мировой практике собирательное название химических средств защиты

растений, состоящее из двух слов: *pest* – «вредитель» и *cide* – «сокращать» (смысловой перевод – вредсокращающие средства).

К пестицидам относят многие тысячи химических препаратов, синтезированных для борьбы с вредными животными и растениями. По химическому составу различают хлорорганические (ДДТ, гексахлоран, и др.) и фосфорорганические (метафос, хлорофос, карбофос) пестициды. Первые малорастворимы в воде и хорошо в жирах, липидах, восках и потому накапливаются в жировой ткани, печени, почках и мозге водных животных. Период полураспада этих пестицидов более 10 лет. Попав в организм, они долго удерживаются в нем. Фосфорорганические пестициды в организмах не накапливаются, быстро разлагаясь под действием внутриклеточных ферментов. Из-за того, что пестициды являются биологически активными веществами, к их поведению в окружающей среде предъявляются определенные требования, обеспечивающие наибольшую эффективность их использования и наименьшую вредность для человека и полезных животных и растений.

Пестициды могут попадать в водные объекты или непосредственно, или из атмосферы и почвы, а также в виде продуктов жизнедеятельности животных и человека. От применения пестицидов в наибольшей степени страдают следующие группы животных (в порядке величин поражения): беспозвоночные, рыбы, птицы, млекопитающие. В первую очередь, поражаются дикие виды, так как они не могут соблюдать «сроков ожидания» и других регламентов применения ядохимикатов. Крупную народнохозяйственную проблему представляет сельскохозяйственное загрязнение внутренних водоемов. Установлено, что от 30 до 70 % всех применяемых пестицидов и минеральных удобрений попадают в воду рек и озер. В результате многие виды могут исчезнуть.

Пестициды, главным образом хлорорганические, можно обнаружить у гидробионтов как морских, так и пресных водных объектов. Среднее содержание пестицидов в пелагиали морей достигает 10–20 нг/дм<sup>3</sup>. Заметно выше оно в континентальных водоемах. Из отдельных пестицидов особенно опасны хлорорганические соединения из-за их устойчивости и разнообразных эффектов воздействия (токсический, мутагенный, канцерогенный).

Фотосинтез фитопланктона угнетается на 75–95 % при концентрации хлорорганических соединений 1–10 мкг/дм<sup>3</sup>, для зоопланктона они токсичны в дозах порядка 10 мкг/дм<sup>3</sup>. Хлорорганические пестициды хорошо растворяются в нефти и ее продуктах,

загрязняющих воду, вследствие чего становятся еще более опасными. Заметно токсичнее хлорорганических фосфорорганические пестициды. Например, ветвистоусые рачки полностью погибают после суточного содержания в воде с концентрацией байтекса, дихлорофоса, карбофоса и метилнитрофоса соответственно 0,1; 0,1; 100 и 500 мкг/дм<sup>3</sup>.

Внутрь организмов пестициды в основном попадают через истонченные поверхности, в частности через жабры и другие органы дыхания. Механизм действия различных пестицидов в зависимости от их химической природы крайне многообразен: угнетение фотосинтеза растений и дыхания животных в результате блокирования реакций с переносом электронов, нарушение обмена через мембраны, ингибирование синтеза белка и хитина, нарушение функций нервной системы.

Пестициды нарушают нормальное функционирование экосистем, в том числе – работу экосистем по очистке воды и поддержанию эволюционно сложившегося состава воздуха.

*Тяжелые металлы и другие вещества.* Термин «тяжелые металлы» вошел в научный лексикон в конце 1960-х гг. и сейчас воспринимается как синоним понятия «токсичные металлы», однако многие из причисляемых к этой группе элементов жизненно необходимы (эссенциальны) для живых организмов.

Обычно к тяжелым металлам относят группу химических элементов, имеющих плотность более 5 г/см<sup>3</sup>. Для биологической классификации правильнее руководствоваться не плотностью, а атомной массой, то есть относить к тяжелым металлам все металлы с относительной атомной массой более 40 а.е.м.

И хотя термин «тяжелые металлы» неудачен, им приходится пользоваться, так как он прочно вошел в экологическую литературу. Набор тяжелых металлов (ТМ) во многом совпадает с перечнем «микроэлементов». Под микроэлементами подразумеваются такие химические элементы, облигатные (обязательные) для растительных и живых организмов, содержание которых измеряется величинами порядка  $n \cdot 10^{-2}$  –  $n \cdot 10^{-5}$  %. Также их называют «следовые», «малые», «редкие», «рассеянные». Из приоритетных металлов наибольшее внимание уделяется четырем, называемым «большой четверкой», это – свинец, ртуть, кадмий и мышьяк.

Обсуждая проблему влияния соединений металлов на функционирование живых организмов, Д.А. Леменовский (1997) указывает на три важнейших обстоятельства: 1) целый ряд металлов (Na, K,

Mg, Ca, V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) включен в различные процессы метаболизма, эти металлы являются жизненно важными для живых организмов; 2) много абиологических металлов в виде строго конкретных соединений нашли применение в медицине и биологии в качестве лекарственных и диагностических средств; 3) некоторые металлы, будучи крайне нежелательными для организмов, проникают туда из естественных природных источников, прежде всего с водой и пищей, а также в результате промышленного загрязнения окружающей среды.

Группа тяжелых металлов занимает прочное место в списке приоритетных загрязнителей природной среды. Наряду с некоторыми другими неорганическими загрязняющими веществами, такими, как озон, оксиды серы, оксиды азота и т.д., тяжелые металлы относятся к классу неспецифических веществ, то есть присутствующих в «норме» практически во всех компонентах незагрязненных (фоновых) природных экосистем. Содержание различных химических элементов в тканях гидробионтов оказывается параметром, более чувствительным к антропогенным воздействиям, нежели другие функциональные и структурные параметры водной экосистемы (биомасса, видовое разнообразие, численность и т.п.)

Транспорт металлов в живые клетки осуществляется двумя основными путями: во-первых, через ионофорные каналы (ионофорные трубки), взаимодействуя с атомами кислорода полиэфирной стенки канала, катион, как по «рельсам», может попасть внутрь клетки и, во-вторых, путем просачивания сквозь мембрану клетки в виде прочных гидрофобных липорастворимых комплексов. В частности, например, так проникает внутрь клетки диметилртуть, – неполярная молекула которой имеет гидрофобные металльные группы и благодаря этому просачивается сквозь мембрану клетки. Клеточные мембраны при этом меняют свою проницаемость (эффект Арнд-Шульца), что очень важно как для импорта жизненно важных для организма веществ, так и для экспорта в среду продуктов клеточного метаболизма.

Среди тяжелых металлов наибольшую роль в загрязнении водных объектов играют ртуть, свинец, олово, кадмий, хром, медь, цинк. Попадают они в водные объекты с промышленными стоками, из атмосферы. Токсичность отдельных соединений сильно различается и неодинакова для разных гидробионтов. В организм водных животных металлы попадают в основном с пищей; меньшее значение имеет непосредственное проникновение через поверхность

тела – путь, характерный для водных растений. Токсичность металлов зависит не только от их концентрации и продолжительности действия. Опасность тяжелых металлов как загрязнителей усугубляется тем, что они устойчивы к разрушению в течение многих лет, быстро накапливаются в гидробионтах и, обладая в сульфидной форме большой стабильностью, очень медленно выводятся из организмов.

Существенное экологическое значение для гидробионтов имеет загрязнение водных объектов детергентами – синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ), антисептиками, фенолами, солями серной и других кислот, отходами деревообрабатывающей, целлюлозной и бумажной промышленности, химических и металлургических предприятий и многими другими веществами. У водорослей СПАВ в сублетальных концентрациях нарушают подвижность половых клеток и спорообразование. Большие количества детергентов попадают в водоемы с промышленными и бытовыми стоками, при обработке (эмульгировании) нефтяных скоплений в водоемах.

*Антропогенная эвтрофикация.* Азот и фосфор являются ключевыми элементами для первичных продуцентов: фитопланктона, макрофитов и высших водных растений. Под антропогенной эвтрофикацией (антропогенным эвтрофированием) понимается повышение уровня трофии водоемов (связанное с деятельностью человека), возникающее при избыточном поступлении в них биогенов (азота и фосфора) и сопровождающееся характерными изменениями водных экосистем. Наиболее существенные из них – ухудшение кислородного режима, возникновение и усиление контрастности по слоистому распределению биохимических процессов с обособлением верхней трофогенной зоны и глубинной трофолитической. Соответствующим образом распределяются окислительно-восстановительные условия и наиболее связанные с химическими реакциями концентрации кислорода, карбонатов, водородных ионов, биогенов. В результате антропогенной эвтрофикации повышается скорость новообразования органического вещества. Продукция преобладает над деструкцией, биомасса экосистем резко возрастает, видовое разнообразие постепенно уменьшается.

## 3.2. Общеэкологический подход к нормированию качества воды

Под *качеством воды* понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01–77 Гидросфера. Использование и охрана вод основные термины и определения), при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

Нормативы качества воды водоемов и водотоков устанавливаются для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользований.

Водопользование (использование водных объектов) – использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических и юридических лиц.

В настоящее время в российском законодательстве виды водопользования на водных объектах определены Водным кодексом Российской Федерации, принятым от 03.06.2006 № 74-ФЗ.

Водопользование осуществляется с предоставлением или без предоставления водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, сброса сточных вод, производства электрической энергии, водного и воздушного транспорта, сплава древесины и иных предусмотренных Водным кодексом целей.

По способу использования водных объектов выделяются следующие виды водопользования:

- 1) с забором (изъятием) водных ресурсов из водных объектов при условии возврата воды в водные объекты;
- 2) с забором (изъятием) водных ресурсов из водных объектов без возврата воды в водные объекты;
- 3) без забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов.

При рассмотрении оценки качества воды для веществ, загрязняющих воду, установлено раздельное нормирование качества воды, которое предусматривает учет приоритетного назначения водного объекта.

Обычно рассматривают три вида водопользования.

*К хозяйственно-питьевому водопользованию* относится использование водных объектов или их участков в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для снабжения предприятий пищевой промышленности. В соответствии

с Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.1.4.1074-01, питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства.

*К культурно-бытовому водопользованию* относится использование водных объектов для купания, занятия спортом и отдыха населения. Требования к качеству воды, установленные для культурно-бытового водопользования, распространяются на все участки водных объектов, находящиеся в черте населенных мест, независимо от вида их использования объектами для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов.

*Рыбохозяйственные водные* объекты могут относиться к одной из трех категорий:

- к высшей категории относят места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охранные зоны хозяйств любого типа для разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений;

- к первой категории относят водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;

- ко второй категории относят водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

Природные воды являются объектами и других видов водопользования – промышленного водоснабжения, орошения, судоходства, гидроэнергетики и т.д. Например, в сельском хозяйстве нормируют качество воды для полива растений, качество воды для поения животных. Существуют определенные требования к качеству воды, используемой в разных отраслях промышленности, например, в электронике, при производстве лекарств и т.д.

Так, например, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22.06.2000 утверждены санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы», которые устанавливают гигиенические требования:

- к качеству воды водных объектов в пунктах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования;

- к условиям отведения сточных вод в водные объекты;

- к размещению, проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации хозяйственных и других объектов, способных



оказывать влияние на состояние поверхностных вод, а также требования к организации контроля за качеством воды водных объектов.

В таблице 3.1 представлены общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования.

**Таблица 3.1. Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов**

№	Показатели	Категории водопользования	
		для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
1	Взвешенные вещества <*>	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на:	
		0,25 мг/дм <sup>3</sup>	0,75 мг/дм <sup>3</sup>
		Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм <sup>3</sup> природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются.	
2	Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей.	
3	Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике:	
		20 см	10 см
4	Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	
		непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
5	Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.	
6	Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5–8,5.	
7	Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм <sup>3</sup> , в т.ч.: хлоридов – 350; сульфатов – 500 мг/дм <sup>3</sup> .	
8	Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм <sup>3</sup> в любой период года, в пробе, отобранной до 12 часов дня.	

№	Показатели	Категории водопользования	
		для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
9	Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> )	Не должно превышать при температуре 20 °С	
		2 мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	4 мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>
10	Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость), ХПК	Не должно превышать:	
		15 мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	30 мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>
11	Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ.	
12	Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций.	
13	Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглав, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 25 л воды.	
14	Термотолерантные колиформные бактерии <*>	Не более 100 КОЕ/100 мл <*>.	Не более 100 КОЕ/100 мл.
15	Общие колиформные бактерии <*>	Не более:	
		1000 КОЕ/100 мл <*>	500 КОЕ/100 мл
16	Колифаги <*>	Не более:	
		10 БОЕ/100 мл <*>	10 БОЕ/100 мл
17	Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии <***>	SUM (A <sub>i</sub> / YB <sub>i</sub> ) ≤ 1	

*Примечания.* <\*> Содержание в воде взвешенных веществ природного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, образующихся при обработке сточных вод, частички асбеста, стекловолокна, базальта, капрона, лавсана и т.д.) не допускается. <\*> Для централизованного водоснабжения; при нецентрализованном питьевом водоснабжении вода подлежит обеззараживанию. <\*\*\*> В случае превышения указанных уровней радиоактивного загрязнения контролируемой воды проводится дополнительный контроль радионуклидного загрязнения в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности; A<sub>i</sub> – удельная активность i-го радионуклида в воде; YB<sub>i</sub> – соответствующий уровень вмешательства для i-го радионуклида.

### 3.3. Нормирование качества воды водоемов и водотоков

В настоящее время в России существует две системы нормативов предельно допустимых концентраций: санитарно-гигиенические, ориентированные на здоровье человека, и рыбохозяйственные, ориентированные на безопасность для рыб как высшего трофического уровня водного объекта (таким образом неявно предполагается, что если обеспечена безопасность для рыб, то это безопасно и для других гидробионтов).

Предельно допустимые концентрации разрабатываются и утверждаются специально уполномоченными федеральными органами исполнительной власти исходя из целевого назначения водного объекта и выражают то пороговое значение концентрации химических веществ и микроорганизмов в воде водного объекта, потребление которой в течение жизни безопасно для здоровья людей.

*Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>г</sub>)* – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

*Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей (ПДК<sub>рх</sub>)* – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

Предельно допустимая концентрация вещества в воде устанавливается:

- для *хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>г</sub>)* с учетом трех показателей вредности:
  - органолептического;
  - общесанитарного;
  - санитарно-токсикологического;
- для *рыбохозяйственного водопользования (ПДК<sub>рх</sub>)* с учетом пяти показателей вредности:
  - органолептического;
  - санитарного;
  - санитарно-токсикологического;
  - токсикологического;
  - рыбохозяйственного.

Органолептический показатель вредности характеризует способность вещества изменять органолептические свойства воды. Общесанитарный – определяет влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод за счет биохимических и химических реакций с участием естественной микрофлоры. Санитарно-токсикологический показатель характеризует вредное воздействие на организм человека, а токсикологический – показывает токсичность вещества для живых организмов, населяющих водный объект. Рыбохозяйственный показатель вредности определяет порчу качеств промысловых рыб.

Наименьшая из безвредных концентраций по трем (пяти) показателям вредности принимается за ПДК с указанием лимитирующего показателя вредности.

Рыбохозяйственные ПДК должны удовлетворять ряду условий, при которых не должны наблюдаться:

- гибель рыб и кормовых организмов для рыб;
- постепенное исчезновение видов рыб и кормовых организмов;
- ухудшение товарных качеств обитающей в водном объекте рыбы;
- замена ценных видов рыб на малоценные.

Для получения обобщенных данных наблюдений, позволяющих оценивать изменения загрязненности воды во времени и пространстве, широко используют статистический метод обработки данных. Для обработки гидрохимической информации используются следующие статистические оценки состояния водных объектов:

1) средние арифметические значения концентрации компонента химического состава воды за выбранный интервал времени, например, сезон, год и т.п.;

2) максимальные и минимальные значения концентрации, характеризующие наихудшие и наилучшие условия в течение рассматриваемого периода;

3) повторяемость концентраций компонента химического состава воды выше предельно допустимой концентрации (ПДК) в 1, 10, 30, 50 и 100 раз;

4) значения концентраций различной обеспеченностью 1, 5, 50, 95 и 99 %.

При статистической обработке используются также следующие оценки:

1) ошибка среднего как оценка достоверности полученных результатов;

2) среднее квадратическое отклонение как оценка устойчивости концентрации на данном объекте (его участке) за период;

3) асимметрия распределения величины концентрации, характеризующая отклонение членов ряда относительно среднего значения.

Существуют также методики оценки состояния водных экосистем по нескольким загрязняющим веществам.

Наиболее информативны индексы загрязненности либо качества воды. В соответствии с ГОСТом 17.1.1.01-77, «индекс качества воды – обобщенная числовая оценка качества воды по совокупности основных показателей и видам водопользования». Как правило, индексы – это формализованные показатели загрязненности воды, обобщающие более широкие группы натуральных показателей, разнообразнее и с большей степенью объективности учитывающие различные стороны оцениваемого объекта, имеющие в связи с этим более сложную структуру. Такие виды комплексных оценок обеспечивают более разностороннюю и адекватную оценку качества воды. К ним относятся индекс качества воды, комбинаторный индекс загрязненности воды, общесанитарный индекс качества воды, гидрохимический индекс качества воды, комплексная оценка степени загрязнения водоемов токсичными веществами и другие.

Существует также понятие многокритериальной оценки, которая предполагает необходимость проведения процедуры свертывания информации, что позволяет преодолеть «проклятие размерности». Как правило, свертывание информации представляет собой целенаправленный процесс, базирующийся на четко сформулированных принципах выбора или конструирования наиболее информативных переменных – индексов состояния (воздействия). Введенный в географо-экологическую литературу термин «многокритериальная оценка» отражает методологическую основу оценки состояния и воздействия на природные экосистемы, с помощью построения сводных (интегральных) показателей по совокупности критериев оценивания. Этим термином отражается еще одна особенность современного этапа исследования природных систем – переход от качественных классификаций и типизаций к разработке шкал состояния (качества) для достаточно большого перечня критериев, характеризующих природные системы и их свойства на различных этапах развития систем.

Систематизация информации о качестве поверхностных вод на основе определенных критериев приводит к необходимости разработки различных классификаций загрязненности или качества воды

водных объектов. Чаще всего при классификации качества поверхностных вод производят сопоставление рассчитанных определенным образом концентраций с соответствующими нормативными или интервальными значениями показателей, установленных для каждого класса качества. В других случаях классификацию качества поверхностных вод осуществляют по значениям индексов, рассчитанных по предложенной схеме, например классификация качества воды по значениям общесанитарного индекса качества воды и индекса загрязненности или классификация качества поверхностных вод по значениям комбинаторного индекса загрязненности и т.д.

Как правило, классификация качества поверхностных вод включает 5–6 классов качества, позволяющих ранжировать качество воды от чистой или очень чистой до грязной или очень грязной.

В настоящее время комплексные оценки загрязненности поверхностных вод представляют собой довольно разнородную систему методов оценки различной степени формализации. Многообразие методов загрязненности поверхностных вод обусловлено различными уровнями исследования водных объектов, целями и задачами оценки качества воды, разнообразием позиций, с которых ведется оценка и применяемых для этого критериев оценки.

Имеющиеся сейчас методы комплексной оценки загрязненности поверхностных вод различаются по целям использования, принципам разработки, критериям оценки, объему и характеру имеющейся информации, способу формализации данных.

На сегодняшний день нет единого, общепринятого метода комплексной оценки загрязненности поверхностных вод. Поэтому из всего имеющегося разнообразия и множества методов комплексной оценки должен применяться тот, который лучше других соответствует поставленным целям и задачам исследований, который лучше других обеспечен необходимой информацией и который дает наиболее адекватную оценку о степени загрязненности воды рассматриваемого участка водного объекта.

Разработка методов комплексной оценки качества воды ведется в двух направлениях: с помощью различных классификаций (определению класса качества воды по наихудшему показателю из имеющегося набора данных) и интегральных оценок (индексов) качества вод. Последнему направлению уделяется большое влияние в России, США, Канаде, Англии и других странах. В этом случае оценка сводится к получению числа (индекса) по совокупности значений выбранных показателей.

В 2002 г. Росгидрометом были утверждены новые методы комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям (РД 52.24.643-2002). Для интегральной оценки рекомендуется использовать следующий показатель – удельный комбинаторный индекс загрязненности вод (УКИЗВ).

Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды в различных створах, пунктах и т.п. Классификация качества вод, проведенная на основе УКИЗВ, позволяет разделить поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени загрязнения: 1 – условно чистые, 2 – слабо загрязненные, 3 – загрязненные, 4 – грязные и 5 – экстремально грязные (таблица 3.2).

**Таблица 3.2. Классификация качества воды водотоков по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности воды**

Класс и разряд	Характеристика состояния загрязненности воды	Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды					
		без учета числа КПЗ	в зависимости от числа учитываемых КПЗ				
			1 ( $k = 0,9$ )	2 ( $k = 0,8$ )	3 ( $k = 0,7$ )	4 ( $k = 0,6$ )	5 ( $k = 0,5$ )
1-й	Условно чистая	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2-й	Слабо загрязненная	(1; 2]	(0,9; 1,8]	(0,8; 1,6]	(0,7; 1,4]	(0,6; 1,2]	(0,5; 1,0]
3-й	Загрязненная	(2; 4]	(1,8; 3,6]	(1,6; 3,2]	(1,4; 2,8]	(1,2; 2,4]	(1,0; 2,0]
разряд «а»	загрязненная	(2; 3]	(1,8; 2,7]	(1,6; 2,4]	(1,4; 2,1]	(1,2; 1,8]	(1,0; 1,5]
разряд «б»	очень загрязненная	(3; 4]	(2,7; 3,6]	(2,4; 3,2]	(2,1; 2,8]	(1,8; 2,4]	(1,5; 2,0]
4-й	Грязная	(4; 11]	(3,6; 9,9]	(3,2; 8,8]	(2,8; 7,7]	(2,4; 6,6]	(2,0; 5,5]
разряд «а»	грязная	(4; 6]	(3,6; 5,4]	(3,2; 4,8]	(2,8; 4,2]	(2,4; 3,6]	(2,0; 3,0]
разряд «б»	грязная	(6; 8]	(5,4; 7,2]	(4,8; 6,4]	(4,2; 5,6]	(3,6; 4,8]	(3,0; 4,0]
разряд «в»	очень грязная	(8; 10]	(7,2; 9,0]	(6,4; 8,0]	(5,6; 7,0]	(4,8; 6,0]	(4,0; 5,0]
разряд «г»	очень грязная	(8; 11]	(9,0; 9,9]	(8,0; 8,8]	(7,0; 7,7]	(6,0; 6,6]	(5,0; 5,5]
5-й	Экстремально грязная	(11; ∞]	(9,9; ∞]	(8,8; ∞]	(7,7; ∞]	(6,6; ∞]	(5,5; ∞]

Расчет УИКЗВ рекомендуется проводить по 15-ти обязательным показателям качества вод: растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), химическое потребление кислорода (ХПК), фенолы, нефтепродукты, нитрит-ионы (NO<sup>2-</sup>), нитрат-ионы (NO<sup>3-</sup>), аммонийный ион (NH<sup>4+</sup>), железо общее, медь (Cu<sup>2+</sup>), цинк (Zn<sup>2+</sup>), никель (Ni<sup>2+</sup>), марганец (Mn<sup>2+</sup>), хлориды (Cl<sup>-</sup>), сульфаты (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Данный перечень может быть дополнен специфическими загрязняющими веществами, которые характерны для определенных водных объектов, или включать ингредиенты необходимые для решения научно-исследовательских задач.

### **3.4. Нормирование качества природных вод по гидробиологическим показателям**

Поступление в водную среду загрязняющих веществ вызывает множество реакций, проявляющихся на организменном, популяционном и биоценоотическом уровнях. Каждая из них может быть основой для разработки метода оценки антропогенного воздействия. На основе таких реакций устанавливаются показатели, отражающие состояние биоты и ее отклик на загрязнение среды.

С другой стороны, набор загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты, очень разнообразен, и воздействие их на организмы может вызывать как токсические (повышение смертности, угнетение физиологических процессов, замедление роста и т.д.), так и эвтрофирующие (ускорение роста и размножения) эффекты; последние в начальный период воздействия могут быть истолкованы как положительные.

Реагируя на состояние среды обитания, водные организмы, обладающие большим потенциалом сопротивления вредным воздействиям, выступают активными агентами детоксикации и самоочищения и являются решающим фактором, формирующим качество воды.

Таким образом, между состоянием водных ценозов и качеством воды существует тесная связь, что и легло в основу создания оценок качества воды по гидробиологическим показателям. Многообразие биологических процессов и реакций организмов на внешние воздействия породило и обилие вариантов биологических оценок.

Используют различные системы гидробиологических оценок. Они могут быть основаны на определении бактериологических показателей качества воды, продукционных характеристик сообществ,



выделении индикаторных организмов, использовании комплекса структурных и функциональных оценок состояния биоты. Такие оценки значительно различаются по условиям применимости и используемым показателям, причем число характеристик, предлагаемых в качестве индикаторов состояния водной экосистемы, постоянно возрастает.

Необходимо отметить, что недостаточно разработан вопрос о приоритетности отдельных показателей состояния водных экосистем. Теоретические основы некоторых методов оценки – мало доказательны.

Существуют два основных направления оценки состояния водных экологических систем и качества природных вод: биоиндикация и биотестирование. В первом из них, производится оценка состояния биоты непосредственно обитающей в водном объекте. Во втором случае проводятся эксперименты с отдельными тест-объектами в лабораторных условиях.

Общепринятая классификация индексов и критериев для гидробиологической оценки в настоящее время отсутствует. Авторами В.К. Шитиковым, Г.С. Розенбергом и Т.Д. Зинченко (2003) было предложено следующее условное деление:

- 1) оценка качества экосистемы по соотношению показателей обилия;
- 2) оценка качества экосистемы по индексам видового разнообразия;
- 3) классификация водоемов по степени сапробности;
- 4) оценка качества экосистемы по соотношению количества видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению;
- 5) интегральные критерии (оценка качества экосистем по нескольким параметрам).

Оценка качества вод по гидробиологическим показателям может проводиться на основе полных и сокращенных программ наблюдений. Требования к ним установлены ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества водоемов и водотоков». Качество воды водного объекта оценивается в соответствии с таблицей 3.3.

Таким образом, оценка качества вод дается на основе информации о гидробионтах (фитопланктоне, зоопланктоне, перифитоне, зообентосе, макрофитах и др.). Кроме того, учитываются микробиологические показатели, интенсивность фотосинтеза и активность деструкции органического вещества.

**Таблица 3.3. Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим и микробиологическим показателям**

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Гидробиологические показатели			Микробиологические показатели		
		По фитопланктону, зоопланктону, перифитону	По зообентосу		Общее количество бактерий, $10^6$ кл/см <sup>3</sup> (кл/мл)	Количество сапрофитных бактерий, $10^3$ кл/см <sup>3</sup> (кл/мл)	Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий
			Индекс сапробности по Пангле и Букку (в модификации Сладечека)	Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %			
I	Очень чистые	Менее 1,00	1–20	10	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее $10^3$
II	Чистые	1,00–1,50	21–35	7–9	0,5–1,0	0,5–5,0	Боле $10^3$
III	Умеренно загрязненные	1,51–2,50	36–50	5–6	1,1–3,0	5,1–10,0	$10^3$ – $10^2$
IV	Загрязненные	2,51–3,50	51–65	4	3,1–5,0	10,1–50,0	Менее $10^2$
V	Грязные	3,51–4,00	66–85	2–3	5,1–10,0	50,1–100,0	Менее $10^2$
VI	Очень грязные	Более 4,00	86–100 или макробентос отсутствует	0–1	Более 10,0	Более 100,0	Менее $10^2$

*Примечание.* Допускается оценивать класс качества воды и как промежуточный между вторым и третьим (II–III), третьим и четвертым (III–IV), четвертым и пятым (IV–V).

Следует отметить, что биологические методы оценки получили широкое распространение для оценки пресноводных экосистем. Для анализа сообществ морского зообентоса Р. Уорвиком предложен ABC-метод. Предполагается, что в отсутствие загрязнения в сообществах преобладают крупноразмерные виды со сравнительно низкими популяционными плотностями, и кривая для биомассы проходит на графике выше кривой для численности. Загрязнение, наоборот, вызывает преобладание в сообществах мелкоразмерных видов с высокой популяционной плотностью, вследствие чего кривая для численности расположится на графике выше, чем кривая

для биомассы. Исследованиями различных авторов было установлено, что плотности поселений двух массовых групп мейобентоса (нематод и гарпактицид) связаны друг с другом самым тесным образом. Взаимозависимое количественное распределение этих групп позволяет им быстро отвечать на изменение условий окружающей среды изменением плотности поселений. По отношению численности нематод (N) и гарпактицид (H) можно характеризовать состояние мейобентосных сообщества и морских донных экосистем. Значение соотношения меньше единицы указывает на благоприятные условия, рост коэффициента N/H – их ухудшение.

### **3.4.1. Классификация водоемов по степени сапробности**

Среди систем биологической индикации качества поверхностных вод видное место принадлежит методам оценки степени загрязненности воды по показательным организмам – так называемому сапробиологическому анализу. Известно, что под влиянием загрязняющих веществ происходят изменения в качественном и количественном составе биоценозов. Причина изменений связана, прежде всего, с различной чувствительностью гидробионтов к воздействию внешней среды. Одни, более чувствительные виды исчезают, другие, наоборот, получают массовое развитие. Это свойство водных ценозов было использовано ботаником Р. Кольквитцем и зоологом М. Марссоном в разработанной ими ещё в начале XX в. системе показательных организмов для оценки сапробности.

Под сапробностью гидробионтов традиционно понимаются физиолого-биохимические свойства организмов, обуславливающие их способность развиваться в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Характеристика степени загрязненности водоема по видовому составу и массе гидробионтов называется сапробностью водоема.

Метод оценки качества воды, основанный на системе индикаторных организмов-сапробионтов, называется сапробиологическим анализом. Оценку производят с использованием заранее разработанных систем индикаторных организмов, с помощью которых по присутствию или отсутствию индикаторных видов или групп и их относительному количеству относят участок водного объекта или объект в целом к определенному классу чистоты природных вод.

В классической системе Кольквитца–Марссона показательные организмы разделяются на три группы: 1) организмы сильно загрязненных вод – полисапробионты, или полисапробы; 2) организмы

умеренно загрязненных вод – мезосапробионты, или мезосапробы (с двумя подгруппами  $\alpha$  и  $\beta$ ); 3) организмы слабо загрязненных вод – олигосапробионты, или олигосапробы.

Из различных модификаций сапробиологического анализа в настоящее время широко используется метод Пантле и Букка в модификации Сладечека, а также модификации Зелинки и Марвана, выделяя по степени загрязнения 5 классов вод:  $x$  – ксеносапробную,  $o$  – олигосапробную,  $b$  – мезосапробную,  $a$  – мезосапробную и полисапробную. Метод Ротшайна объединил методы Пантле и Букка и Зелинки и Марвана, придав каждой ступени сапробности числовое значение.

Р. Пантле и Х. Букк для оценки степени загрязненности ввели индекс сапробности  $S$ . При этом индикаторная значимость  $S$  олигосапробов принимается за 1,  $\beta$  – мезосапробов – за 2,  $\alpha$  – мезосапробов – за 3 и полисапробов – за 4. Относительное количество особей ( $h$ ) учитывается в баллах: случайные находки – 1, частая встречаемость – 3 и массовое скопление – 5. В полисапробной зоне  $S$  имеет пределы от 4,0 до 3,5, в  $\alpha$  – мезосапробной зоне – от 3,5 до 2,5, в  $\beta$  – мезосапробной зоне – от 2,5 до 1,5 и в олигосапробной зоне – от 1,5 до 1,0. Для более загрязненных водоемов В. Сладечек предложил принять индекс сапробности от 4,51 до 8,5, а для чистых, ксеносапробных вод – от 0 до 0,5.

### **3.4.2. Нормирование качества воды по видовому разнообразию**

В последнее время при биологическом анализе природных вод большое внимание уделяют использованию индексов видового разнообразия. Теоретическая посылка этих индексов – сформулированное в современной экологии положение об обязательном высоком видовом разнообразии системы.

Начиная с 1960-х годов, индексы видового разнообразия все чаще используют для оценки устойчивости водных экосистем.

Большое преимущество способов оценки по видовому разнообразию заключается в том, что их можно использовать применительно к любым видам загрязняющих веществ. С их помощью возможно проводить анализ структуры сообщества, но при этом надо помнить, что видовое разнообразие изменяется не только в присутствии токсичных веществ, но и с изменением условий минерального питания, а также в результате любого изменения среды обитания, которое создает условия для доминирования вида или нескольких видов, наиболее приспособленных к изменившимся условиям.

### **3.4.3. Смешанные системы оценок, основанные на показательных значениях организмов и видовом разнообразии**

Смешанные системы биологического анализа качества воды объединяют принципы индикаторного значения отдельных таксонов с принципом уменьшения разнообразия организмов в условиях загрязнения воды. Наиболее широкое распространение в нашей стране получила система Вудивисса.

Предложенная Ф. Вудивиссом система и ее модификации предназначены для дифференцированной оценки степени загрязнения вод по видовому разнообразию и показательным значениям таксонов. Величины индексов определяются числом присутствующих групп и составом водных организмов на участках с различной степенью загрязнения. Данная система опробована для оценки загрязнения водоемов бытовыми стоками и хорошо себя зарекомендовала.

Достаточно простой способ оценки загрязнения неустойчивыми видами разработан Бекком, который выделил 39 индикаторов загрязнения среди многоклеточных беспозвоночных и систематизировал их на две группы: одна группа – виды, выносящие только слабое загрязнение и вторая – виды, переносящие сильное загрязнение (даже анаэробные условия). Оценка производится по биотическому индексу. При сильном загрязнении (отсутствуют индикаторные организмы) индекс равен нулю, при среднем загрязнении – 1–6. Максимальное значение индекса в чистых водах принимается за 40.

Методика Патрик основана на детальном изучении видового состава всех групп гидробионтов и растений, в том числе и прикрепленных. Полученные результаты отражаются на гистограмме. Общее число видов в пробе выражается в процентах к среднему числу видов, встреченных в девяти пробах незагрязненного участка. К сожалению, данная система не применяется, хотя с ее помощью могут быть объяснены закономерности, определяющие реакцию гидробионтов и водных экосистем на загрязнения.

### **3.4.4. Нормирование качества воды по микробиологическим показателям**

Стандартные микробиологические показатели, используемые в современных системах оценки качества вод, представлены очень скупо – общая численность бактериопланктона, коли-титр и количество гетеротрофных и сапрофитных бактерий.

Эти показатели характеризуют качество вод только в момент взятия проб и дают некоторое представление о санитарном состоянии водоема. По этим показателям нельзя судить об антропогенном эвтрофировании водоема или токсическом влиянии. В 1976 г. был предложен комплекс микробиологических показателей, позволяющий более полно определять ряд функциональных характеристик (Фурсиенко М.В., 1976).

Методы определения функциональных характеристик бактериопланктона в силу значительной трудоемкости широкого применения при оценке качества природных вод не получили.

Стоит отметить, что нормирование питьевой воды регулируется СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Данным документом установлены гигиенические требования к качеству питьевой воды, а также правила контроля качества воды, производимой и подаваемой централизованными системами питьевого водоснабжения населенных мест.

Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 3.4.

**Таблица 3.4. Нормативы микробиологических и паразитологических показателей**

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

*Примечания*

- 1) При определении проводится трехкратное исследование по 100 мл отобранной пробы воды.
- 2) Превышение норматива не допускается в 95 % проб, отбираемых в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети в течение 12 месяцев, при количестве исследуемых проб не менее 100 за год.
- 3) Определение проводится только в системах водоснабжения из поверхностных источников перед подачей воды в распределительную сеть.
- 4) Определение проводится при оценке эффективности технологии обработки воды.

При исследовании микробиологических показателей качества питьевой воды в каждой пробе проводится определение термотолерантных колиформных бактерий, общих колиформных бактерий, общего микробного числа и колифагов.

### **3.5. Разработка нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов в водные объекты**

На основании величин предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ рассчитываются предельно допустимые эмиссии: для водных объектов – предельно допустимые сборы. Именно они непосредственно регламентируют интенсивность и качество технологических процессов, являющихся источниками загрязнения, и приобретают свойство экологических нормативов.

До 2008 г. широко использовалось понятие предельно допустимого сброса (ПДС). ПДС – масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. Величина этого показателя устанавливалась исходя из условий непревышения предельно допустимых концентраций вредных веществ в контрольном створе или на участке водного объекта с учетом его целевого использования, а при превышении ПДС в контрольном створе – из условия сохранения (неухудшения) состава и свойств воды в водных объектах, сформировавшихся под влиянием природных факторов. В 2007 г. приказом Министерства природных ресурсов от 17.12.2007 № 333 была утверждена новая методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей, согласно которой вместо ПДС вводится понятие нормативно допустимого сброса (НДС).

Величины НДС определяются исходя из нормативов качества воды водного объекта. Если нормативы качества воды в водных объектах не могут быть достигнуты из-за воздействия природных факторов, не поддающихся регулированию, то величины НДС определяются исходя из условий соблюдения в контрольном пункте (створе) сформировавшегося природного фонового качества воды. Таким образом, расчетная величина норматива допустимого сброса тесно связана с числовым значением норматива качества вод водных объектов.

Необходимо учитывать, что при сбросе сточных, в том числе дренажных, вод в водные объекты рыбохозяйственного значения,

нормативы качества вод или их природные состав и свойства должны соблюдаться в максимально загрязненной струе контрольного створа на расстоянии (на водотоках - ниже по течению; на водоемах и морях – на акватории в радиусе) не далее 500 м от места сброса сточных, в том числе дренажных, вод.

В соответствии со ст. 1 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» нормативы допустимых сбросов веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов (нормативы допустимых сбросов веществ и микроорганизмов) – нормативы, которые установлены для субъектов хозяйственной и иной деятельности в соответствии с показателями массы химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, допустимых для поступления в окружающую среду от стационарных, передвижных и иных источников в установленном режиме и с учетом технологических нормативов, и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды.

Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей (НДС) не предусматривает разработку нормативов допустимых сбросов для радиоактивных веществ.

Исходная информация для разработки проекта НДС запрашивается водопользователем:

- в управлениях по гидрометеорологии по мониторингу окружающей среды Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды или в организациях, имеющих лицензию на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях (в части получения информации о количественных и качественных характеристиках водного объекта – приемника сточных вод, а также метеорологических данных);

- в территориальном органе Федерального агентства по рыболовству (в части получения информации о рыбохозяйственном значении и категории водного объекта – приемника сточных вод.

Согласно действующему законодательству запрещен сброс сточных, в том числе дренажных вод в водные объекты:

- содержащие природные лечебные ресурсы;
- отнесенные к особо охраняемым водным объектам.
- расположенные в границах: зон, округов санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения; первой, второй зон округов санитарной (горно-санитарной) охраны



лечебно-оздоровительных местностей и курортов; рыбоохранных зон, рыбохозяйственных заповедных зон.

При эксплуатации водохозяйственной системы запрещены:

1) сбросы в водные объекты сточных, в том числе дренажных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию (исходя из недопустимости превышения нормативов допустимого воздействия на водные объекты и нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах), а также сточных, в том числе дренажных вод, не соответствующих требованиям технических регламентов;

2) забор (изъятие) водных ресурсов из водного объекта в объеме, оказывающем негативное воздействие на водный объект;

3) сброс в водные объекты сточных, в том числе дренажных вод, в которых содержатся возбудители инфекционных заболеваний, а также вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций.

Перечень нормируемых веществ формируется на основе исходной информации об использовании веществ на конкретном предприятии и анализе данных о качестве исходной и сточных, в том числе дренажных вод. Перечень нормируемых веществ организаций, осуществляющих водоотведение, должен включать вещества, принимаемые со сточными, в том числе дренажными водами, абонентов.

*Расчет величин НДС для отдельных выпусков сточных, в том числе дренажных вод в водотоки.* Величина НДС для отдельных выпусков сточных вод в водотоки определяются для всех категорий водопользователей как произведение максимального часового расхода сточных вод –  $q'$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) на допустимую концентрацию загрязняющего вещества  $C_{\text{ндс}}$  ( $\text{г}/\text{м}^3$ ). При расчете условий сброса сточных вод сначала определяется значение  $C_{\text{ндс}}$ , обеспечивающее нормативное качество воды в контрольных створах, а затем определяется НДС согласно формуле:

$$\text{НДС} = q C_{\text{ндс}}. \quad (3.1)$$

Необходимо подчеркнуть обязательность требования увязки сброса массы вещества, соответствующей НДС, с расходом сточной воды. Например, уменьшение расхода при сохранении величины НДС будет приводить к концентрации вещества в водном объекте, превышающей ПДК.

Основная расчетная формула для определения  $C_{\text{ндс}}$  без учета неконсервативности вещества имеет вид:

$$C_{\text{ндс}} = n(C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (3.2)$$

где  $C_{\text{пдк}}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, г/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке (г/м<sup>3</sup>) выше выпуска сточных вод, определяемая в соответствии с действующими методическими документами по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков;  $n$  – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке, равная произведению кратности начального разбавления  $n_{\text{н}}$  на кратность основного разбавления  $n_{\text{о}}$  (основное разбавление, возникающее при перемещении воды от места выпуска к расчетному створу)

$$n = n_{\text{н}} \cdot n_{\text{о}}. \quad (3.3)$$

Если фоновая загрязненность водного объекта по каким-либо показателям не позволяет обеспечить нормативное качество воды в контрольном пункте (створе), то НДС по этим показателям разрабатываются исходя из отнесения нормативных требований к составу и свойствам воды водных объектов к самим сточным, в том числе дренажным, водам. То есть если фоновая концентрация ( $C_{\text{ф}}$ ) больше, чем предельно допустимая концентрация вещества для водного объекта ( $C_{\text{пдк}}$ ), тогда  $C_{\text{ндс}}$  принимается равной  $C_{\text{пдк}}$ :

Кратность основного разбавления  $n_{\text{о}}$  можно определить по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера при соблюдении следующего неравенства:

$$0,0025 \leq \frac{q}{Q} \leq 0,1, \quad (3.4)$$

$$n_{\text{о}} = \frac{q + \gamma \cdot Q}{q}, \quad (3.5)$$

где  $Q$  – расчетный расход водотока, м<sup>3</sup>/с;  $\gamma$  – коэффициент смешения, показывающий какая часть речного расхода смешивается со сточными водами в максимально загрязненной струе расчетного створа:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{l}}}, \quad (3.6)$$

где  $l$  – расстояние от выпуска до расчетного створа по фарватеру, м;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в реке:

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q^2}}, \quad (3.7)$$

где  $\varphi$  – коэффициент извилистости (отношение расстояния до контрольного створа по фарватеру к расстоянию по прямой);  $\xi$  – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод (при выпуске у берега  $\xi = 1$ , при выпуске в стрежень реки  $\xi = 1,5$ );  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ . Для летнего времени:

$$D = \frac{g \cdot \vartheta \cdot H}{37 \cdot n_{\text{ш}} \cdot C^2}, \quad (3.8)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\vartheta$  – средняя скорость течения реки,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $H$  – средняя глубина реки,  $\text{м}$ ;  $n_{\text{ш}}$  – коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый по справочным данным (по таблице М.Ф. Срибногo);  $C$  – коэффициент Шези ( $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ ), определяемый по формуле Н.Н. Павловского (при  $H \leq 5 \text{ м}$ ):

$$C = \frac{R^y}{n_{\text{ш}}}, \quad (3.9)$$

где  $R$  – гидравлический радиус потока,  $\text{м}$  ( $R \approx H$ );

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n_{\text{ш}}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n_{\text{ш}}} - 0,1). \quad (3.10)$$

Если сточные воды и притоки могут поступать с обоих берегов реки, обеспечивая практически постоянную струйность речных вод вдоль каждого берега, то для расчетов концентраций веществ в максимально загрязненной струе рекомендуется использовать метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера для случая впадения сточных вод с обоих берегов реки.

Если не соблюдаются условия применимости метода В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера, или в расчете необходимо учесть данные о накоплении загрязняющих веществ в донных отложениях, то рекомендуется использовать методы, изложенные в книге «Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод» под редакцией А.В. Караушева.

Начальное разбавление рассчитывается в следующих случаях:

– для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков при соотношении скоростей речной воды  $V_p$  и скорости сточных вод из выпуска  $V_{\text{ст}}$ :

$$V_{\text{ст}} \geq 4 \cdot V_p; \quad (3.11)$$

– при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска больше 2 м/с.

*Определение норматива допустимого сброса по концентрации взвешенных веществ.* Для водных объектов рыбохозяйственного значения при сбросе сточных, в том числе дренажных вод в водные объекты содержание взвешенных веществ в контрольном створе не должно увеличиваться по сравнению с фоновым содержанием более чем на 0,25 мг/дм<sup>3</sup> (для высшей и первой категории водопользования) и более чем на 0,75 мг/дм<sup>3</sup> (для второй категории водопользования). В водных объектах рыбохозяйственного значения при содержании в межень более 30 мг/дм<sup>3</sup> природных взвешенных веществ допускается увеличение содержания их в воде в пределах 5 %.

Для водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также в рекреационных целях при сбросе сточных, в том числе дренажных вод в водный объект содержание взвешенных веществ в контрольном створе не должно увеличиваться по сравнению с фоновым содержанием более чем на 0,25 мг/дм<sup>3</sup> (для водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения) и более чем на 0,75 мг/дм<sup>3</sup> (для водных объектов, используемых в рекреационных целях и в границах населенных пунктов). Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм<sup>3</sup> природных взвешенных веществ, допускается увеличение содержания их в воде в пределах 5 %.

Сточные, в том числе дренажные воды, содержащие взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/сек, запрещается сбрасывать в водотоки и более 0,2 мм/сек – в водоемы.

Для водных объектов рыбохозяйственного значения температура воды не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водного объекта более чем на 5 °С, с общим повышением температуры не более чем до 20 °С летом и 5 °С зимой для водных объектов, где обитают холодолюбивые рыбы (лососевые и сиговые) и не более чем до 28 °С летом и 8 °С зимой в остальных случаях. В местах нерестилищ налима запрещается повышать температуру воды зимой более чем на 2 °С.

Сброс загрязняющих веществ на уровне установленного лимита сброса загрязняющих веществ, превышающий величину НДС, относится к негативному воздействию, не зависит от ассимилирующей способности водного объекта и устанавливается на период проведения водоохраных мероприятий, с целью достижения установленных нормативов.

НДС разрабатываются и утверждаются на 5 лет.

Разработка и утверждение новых НДС до истечения срока действия утвержденных в установленном порядке НДС осуществляется в следующих случаях:

- при изменении на 30 и более % годового объема сточных, в том числе дренажных вод, в течение двух лет подряд;
- при изменении перечня сбрасываемых загрязняющих веществ;
- при изменении технологии производства, методов очистки сточных, в том числе дренажных вод, параметров сброса;
- при утверждении в установленном порядке нормативов допустимого воздействия на водные объекты.

Пересмотр и уточнение ранее утвержденных НДС может быть произведен как одновременно для совокупности водопользователей, расположенных в бассейне водного объекта в пределах водохозяйственного участка, так и индивидуально для каждого отдельного водопользователя (отдельного выпуска).

С 2019 г. вступили в силу законодательные положения, которыми введены программы повышения экологической эффективности и планы мероприятий по охране окружающей среды.

В случае невозможности соблюдения нормативов допустимых сбросов юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах II и III категорий, на период поэтапного достижения нормативов допустимых сбросов разрабатывается и утверждается план мероприятий по охране окружающей среды.

В случае невозможности соблюдения нормативов допустимых сбросов юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах I категории, на период поэтапного достижения нормативов допустимых сбросов в обязательном порядке разрабатывается и утверждается программа повышения экологической эффективности.

План мероприятий по охране окружающей среды включает в себя перечень мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду, сроки их выполнения, объем и источники финансирования, перечень ответственных за их выполнение должностных лиц. Программа повышения экологической эффективности включает в себя перечень мероприятий по реконструкции, техническому перевооружению объектов, оказывающих негативное

воздействие на окружающую среду, сроки их выполнения, объем и источники финансирования, перечень ответственных за их выполнение должностных лиц.

Выявляя принципиальные различия между планами снижения выбросов, сбросов и программами повышения экологической эффективности, планами мероприятий по охране окружающей среды, отмечены следующие ключевые моменты.

Во-первых, различаются цели установления планов снижения сбросов и программ повышения экологической эффективности, планов природоохранных мероприятий:

- разработка планов снижения сбросов направлена на достижение цели установления лимитов на сбросы на период поэтапного достижения нормативов допустимых сбросов;

- разработка программ повышения экологической эффективности и планов мероприятий по охране окружающей среды направлена на достижение цели установления временно разрешенных сбросов на период поэтапного достижения нормативов допустимых сбросов.

Во-вторых, различается порядок разработки, согласования и утверждения планов снижения сбросов и программ повышения экологической эффективности, планов природоохранных мероприятий.

Так, требования к порядку разработки, согласования и утверждения планов сбросов установлены Административным регламентом, утвержденным приказом Минприроды России от 09.01.2013 № 2. В свою очередь, требования к разработке программ повышения экологической эффективности и планов мероприятий по охране окружающей среды установлены приказами Минприроды России от 17.12.2018 № 666 и от 17.12.2018 № 667.

Для установления временно разрешенных сбросов план мероприятий по охране окружающей среды, программа повышения экологической эффективности включают в себя показатели и график поэтапного снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Срок реализации плана мероприятий по охране окружающей среды не может превышать семь лет и не подлежит продлению.

Срок реализации программы повышения экологической эффективности не может превышать семь лет и не подлежит продлению, за исключением:

- для объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, численность работников на которых составляет не менее чем 25 % численности работающего населения соответствующего населенного пункта (градообразующих организаций)

или превышает пять тысяч человек, а также для объектов, хозяйственная и (или) иная деятельность на которых осуществляется федеральными государственными унитарными предприятиями или открытыми акционерными обществами, акции которых находятся в федеральной собственности и которые осуществляют производство продукции (товаров), выполнение работ, оказание услуг и имеют стратегическое значение для обеспечения обороноспособности и безопасности государства, срок реализации программы повышения экологической эффективности не может превышать четырнадцать лет и не подлежит продлению.

Как уже было отмечено ранее, Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 09.01.2013 № 2 утвержден Административный регламент Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по предоставлению государственной услуги по выдаче разрешений на сбросы веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты. Данный регламент определяет порядок, сроки и последовательность административных процедур (действий) Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, ее территориальных органов, порядок взаимодействия между структурными подразделениями территориальных органов Росприроднадзора при предоставлении государственной услуги по выдаче разрешений на сбросы веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты.

Государственная услуга предоставляется юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, осуществляющим любые виды хозяйственной и иной деятельности на территории Российской Федерации, которая приводит к сбросам веществ и микроорганизмов в водные объекты, по месту расположения выпусков сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты.

Конечным результатом предоставления государственной услуги является выдача разрешений на сбросы веществ (за исключением радиоактивных) и микроорганизмов в водные объекты, либо предоставление мотивированного отказа в выдаче указанных разрешений, переоформление разрешения на сбросы, выдача дубликата разрешения на сбросы.

Разрешениями на сбросы для хозяйствующего субъекта устанавливаются перечень и количества загрязняющих веществ, допускаемых к сбросу в водные объекты при соблюдении предусмотренных законодательством Российской Федерации условий (допустимая

концентрация вещества на выпуске сточных и (или) дренажных вод ( $\text{мг/дм}^3$ ), показатели разрешенного сброса загрязняющих веществ (тонн в год) на период действия разрешения на сброс с разбивкой по кварталам и утвержденный расход сточных вод ( $\text{м}^3$  в час) отдельно по каждому выпуску сточных и (или) дренажных вод:

– в пределах утвержденных нормативов допустимого сброса веществ и микроорганизмов в водные объекты;

– в пределах лимитов на сбросы.

При наличии утвержденных НДС и при условии, что достижение НДС обеспечивается, разрешение на сбросы выдается на срок действия указанных нормативов, если лимиты на сбросы не устанавливались. Если НДС не обеспечиваются, и при наличии лимитов на сбросы срок действия разрешения на сброс составляет один год с даты выдачи разрешения.

## Литература

1. *Алексеев Д.К.* Оценка экологического благополучия и устойчивости экосистем Финского залива // Сборник материалов XX Международного экологического Форума «День Балтийского моря». – СПб., 2019. – С. 120–125.
2. *Алексеев Д.К., Гальцова В.В., Дмитриев В.В.* Экологический мониторинг: современное состояние, подходы и методы: учебное пособие. – Часть 1. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 302 с.
3. *Алексеев Д.К., Зуева Н.В., Розенкова И.В., Урусова Е.С., Шелутко В.А.* Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: новые горизонты // Метеорологический вестник. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 1–8.
4. *Алексеев Д.К., Шелутко В.А., Зуева Н.В., Колесникова Е.В., Урусова Е.С., Примак Е.А.* Результаты исследований в области прикладной и системной экологии в РГГМУ // Гидрометеорология и экология. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2020. – №. 60. – С. 306–324.
5. *Арманд А.Д.* Механизмы устойчивости геосистем. – М.: Наука, 1992. – 208 с.
6. *Венчулис Л.С., Скорик Ю.И., Флоринская Т.М.* Система обращения с отходами: принципы организации и оценочные критерии. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. – 109 с.



7. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.
8. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: учебно-методическое пособие. – Ижевск: Удмуртский университет, 2012. – 199 с.
9. Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных экосистем. – СПб., 2007. – 364 с.
10. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния осадков Кольского залива Баренцева моря // Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. – СПб.: РГГМУ, 2002. – С. 65–70.
11. Дмитриев В.В. Эколога-географическая оценка состояния внутренних водоемов: дис. ... докт. геогр. наук. – СПб., 2000. – 419 с.
12. Дмитриев В.В. Оценка состояния и устойчивости наземных и водных геосистем. Учебно-методическое пособие. – СПб.: Медиапайр, 2020. – 200 с.
13. Дмитриев В.В. и др. Мониторинг и моделирование продукционно-деструкционных отношений в водных экосистемах // Успехи современного естествознания. – Пенза: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2019. – № 1. – С. 82–87.
14. Дмитриев В.В., Зуева Н.В., Огурцов А.Н., Примак Е.А. Экологический статус и экологическое благополучие водного объекта: аксиология и оценка // Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». Сборник докладов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2019. – С. 297–301.
15. Дмитриев В.В., Пряхина Г.В., Огурцов А.Н., Примак Е.А., Амаро Медина Д.Р. Оценка эмерджентных свойств водных объектов: трофический статус, устойчивость, экологическое благополучие // Международная научно-практическая конференция «Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (28–31 марта 2018 г.). Сборник докладов. – СПб: СПбГУ. – С. 352–359
16. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем: учеб. пособие. – СПб.: Наука, 2004. – 294 с.
17. Жижин К.С., Трушкова Е.А., Омельченко Е.В. Применение экологических нормативов для оценки качества окружающей природной среды // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – Вып. 11. – С. 88–90.

18. *Жиров А.И.* Прикладная экология: учебник для вузов в 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2020. – Том 1. – 355 с.; Том 2. – 311 с.
19. *Зуева Н.В. и др.* Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2019. – 140 с.
20. *Зуева Н.В., Гальцова В.В., Дмитриев В.В., Степанова А.Б.* Использование структурных характеристик сообществ макрофитов как индикатора экологического состояния малых рек северо-запада Ленинградской области // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. – Сер. 7. Геология. География. – 2007. – Вып. 4. – С. 60–71.
21. *Зуева Н.В., Бобров А.А.* Использование макрофитов в оценке экологического состояния малой реки (на примере р. Охта, г. Санкт-Петербург) // Биология внутренних вод. – 2018. – № 1. – С. 45–54.
22. *Зуева Н.В., Козлова А.В., Куличенко А.Ю.* Опыт использования токсикологических характеристик в интегральной оценке экологического состояния водного объекта // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. – № 3. – С. 43–56.
23. *Зуева Н.В., Мостовая М.А., Лешукова А.И.* Характеристики макрофитов в оценке качества воды малых рек Санкт-Петербурга // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. – СПб: Любавич, 2011. – С. 137–142.
24. *Козлова А.В., Зуева Н.В.* Оценка экологического состояния ряда водоемов Северо-Запада России с использованием токсикологических характеристик // Метеорологический вестник. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 100–105.
25. *Коновалова В.А.* Нормирование качества окружающей среды: учебное пособие. – М.: РГУИТП, 2011. – 158 с.
26. Конституция Российской Федерации: [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
27. *Ламихова М.* Категоризация объектов, оказывающих НВОС, в соответствии с требованиями Федерального закона от 21.07.2014 № 219-ФЗ // Справочник эколога. – 2015. – Вып. 5. – С. 23–33.
28. *Ламихова М.* Правила разработки технологических нормативов: обзор Приказа Минприроды России от 14.02.2019 № 89 // Справочник эколога. – 2019. – Вып. 6. – С. 10–16.
29. *Латыпова В.З., Степанова Н.Ю., Минакова Е.А.* Экологическое нормирование антропогенных нагрузок на водные экосистемы // Экологический консалтинг. – 2004. – Вып. 4 (16). – С. 3–10.

30. *Матвеев А.В., Котов В.П.* Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза. – СПб.: СПбГУАП, 2004. – 104 с.
31. Научно-практический комментарий к Федеральному закону «Об охране окружающей среды» (постатейный) (под ред. д-ра юрид. наук А.П. Анисимова): [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
32. Об охране окружающей среды: федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 27.12.2019): [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
33. Об утверждении Административного регламента Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по предоставлению государственной услуги по выдаче разрешений на сбросы веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты: приказ Минприроды России от 09.01.2013 № 2: [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
34. Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: приказ МПР от 17.12.2007 № 333 (ред. от 31.07.2018): [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
35. Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов: приказ Минприроды России от 18.04.2018 № 154: [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
36. Об утверждении правил разработки плана мероприятий по охране окружающей среды: приказ Минприроды России от 17.12.2018 № 667: [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
37. Об утверждении правил разработки программы повышения экологической эффективности: приказ Минприроды России от 17.12.2018 № 666: [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
38. *Одинокова К.Д., Примак Е.А.* Оценка устойчивости антропогенно-трансформированных водоемов к изменению параметров режимов // Международная научно-практическая конференция «Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению» – памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова. Сборник докладов – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2020. – С. 745–749.

39. *Одинокова К.Д., Примак Е.А.* Сравнительная интегральная оценка устойчивости антропогенно-трансформированного водоема к изменению параметров естественного и антропогенного режимов // Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». Сборник докладов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2019. – С. 661–665.
40. *Одум Ю.* Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
41. О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него: пост. Прав. РФ от 02.03.2000 № 183 (ред. от 14.07.2017): [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
42. О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176: [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
43. О структуре федеральных органов исполнительной власти: Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 21 (ред. от 25.03.2020): [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
44. *Пименова Е.В.* Нормирование качества окружающей среды и сельско-хозяйственной продукции. – Пермь: ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2009. – 74 с.
45. *Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю.* Экологическая уязвимость Баренцева, Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей к операциям по добыче и транспортировке нефти: сравнительный анализ // Труды РАО-03. 16–19 сентября 2003. – СПб., 2003. – С. 389–393.
46. *Примак Е.А.* Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 188 с.
47. *Примак Е.А.* Интегральная оценка устойчивости районов Ладожского озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов // Вестник СПбГУ. Геология, География. – Сер. 7, вып. 3. – 2009. – С. 151–158.
48. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Разработка интегрального индекса для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов // Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2008. – С. 234–241.
49. Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды / под ред. П.П. Арапова и Ю.П. Селиверстова. – СПб.: Изд. СПбГУ, 1994. – 96 с.

50. Пузаченко Ю.Г. Проблемы устойчивости и нормирования // Структурно-функциональная организация и устойчивость биологических систем: Сб. науч. статей. – Днепропетровск, 1990. – С. 122–147.
51. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 638 с.
52. Рисник Д.В., Беляев С.Д., Булгаков Н.Г. и др. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Законодательные и научные основы существующих систем экологического нормирования // Успехи современной биологии. – 2012. – Т. 132. – Вып. 6. – С. 531–550.
53. Рыженков А.Я. Реализация принципа экологического нормирования: новое в российском праве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 3 (53). – С. 353–356.
54. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.06.2000) (с изм. от 25.09.2014): [Электронный ресурс]. – СПС КонсультантПлюс.
55. Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. – М.: Наука, 1978. – 190 с.
56. Снакин В.В. Бутовский Р.О., Мельченко В.Е. и др. Оценка состояния и устойчивости экосистем. – М.: Изд. ВНИИ природа, 1992. – 127 с.
57. Утятникова О.Б., Костылева Н.В. Государственный экологический надзор. История вопроса // Антропогенная трансформация природной среды. – 2012. – Вып. 1. – С. 241–246.
58. Филочева Т.П., Горкина И.Д. Экономика природопользования и охраны окружающей среды: учебник. – Владивосток: ВГУЭС, 2015. – 300 с.
59. Хаустов А.П., Редина М.М. Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды: учебник для академического бакалавриата – М.: Юрайт, 2019. – 387 с.
60. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном. – СПб.: Изд-во СПб ун-та, 1996. – 196 с.
61. Шилин М.Б., Горбунов Н.Е., Блинов Л.Н., Бобылёв Н.Г. и др. Экологические основы управления природно-техническими системами: учебное пособие для студентов высших учебных

- заведений, обучающихся по направлению подготовки 280200 «Защита окружающей среды». – СПб., 2008. – 508 с.
62. *Шутиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. – Кн. 1. – М.: Наука, 2005. – 281 с.
  63. *Шуйский В.Ф.* Закономерности лимитирования пресноводного макрозообентоса экологическими факторами: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – СПб.: Зоологический ин-т, 1997. – 50 с.
  64. *Шуйский В.Ф., Максимова Т.В., Петров Д.С.* Изоболический метод оценки нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса. – СПб.: МАНЭБ, 2004. – 304 с.
  65. *Galtsova V., Alekseev D.K.* Meiobenthos of Baltic Sea and its usage as indicator of ecological state of marine ecosystems. ECOBALTI-CA'2008 / editors: Michael Fiodorov, William Hogland and Vasiliiy Rud'. – 2008. – С. 109–113.
  66. *Primak E., Odínokova K., Rummyantseva N., Kaverzneva T., Efremov S.* Integral Assessment of Anthropogenically Transformed Water Reservoirs Stability for Changes in Mode Parameters // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol 1259. Springer, Cham. – Pp. 408–418.
  67. *Raffaelli D.G., Mason C.F.* Pollution monitoring with meiofauna using the ratio at nematodes to copepods // Mar. Polut. Bull. – 1981, 12, 5. – Pp. 158–163.
  68. *Warwick R.M.* A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities // Mar. Biol. 1987. – V. 95, № 2. – Pp. 193–200.
  69. *Wormald E. P.* Effect of a spill of marine diesel oil on the meiofauna of sandy beach at Picnic Bay, Hong Kong // Environmental Pollution. – 1976, 11. – Pp. 117–130.

# Приложение

## **Перечень российских законов, регулирующих природопользование и охрану объектов окружающей среды в Российской Федерации**

### *Общие вопросы охраны окружающей среды*

- Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
- Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе».
- Экологический надзор и контроль, ответственность за экологические правонарушения.
- «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 № 195-ФЗ.
- «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ.
- Федеральный закон от 26.12.2008 № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля».

### *Обеспечение экологической безопасности населения и окружающей среды*

- Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».
- Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ.
- Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.1997 № 117-ФЗ.
- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ.
- Федеральный закон «О специальных экологических программах реабилитации радиационно загрязненных участков территории» от 10.07.2001 № 92-ФЗ.
- Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

*Охрана атмосферного воздуха*

– «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 № 60-ФЗ.

– Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ.

– Федеральный закон от 22.03.2003 № 34-ФЗ «О запрете производства и оборота этилированного автомобильного бензина в Российской Федерации».

– Федеральный закон от 04.11.2004 № 128-ФЗ «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата».

– Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха».

*Рациональное использование и охрана поверхностных вод*

– Федеральный закон от 31.07.1998 № 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации».

– «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ.

– Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 01.05.1999 № 94-ФЗ.

*Отходы производства и потребления*

– Федеральный закон «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» от 25.11.1994 № 49-ФЗ.

– Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ.

*Рациональное использование и охрана земель*

– Федеральный закон «О мелиорации земель» от 10.01.1996 № 4-ФЗ.

– Федеральный закон от 07.05.2001 № 49-ФЗ «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации».

– Федеральный закон от 18.06.2001 № 78-ФЗ «О землеустройстве».

– «Земельный кодекс Российской Федерации» от 25.10.2001 № 136-ФЗ.



– Федеральный закон от 24.07.2002 № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения».

– Федеральный закон от 21.12.2004 № 172-ФЗ «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую».

– Федеральный закон «Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 19.07.2011 № 246-ФЗ.

*Рациональное использование и охрана недр*

– Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 № 2395-1.

– Федеральный закон «Об участках недр, право пользования которыми может быть предоставлено на условиях раздела продукции (Ковыктинском газоконденсатном месторождении)» от 12.02.2001 № 13-ФЗ.

*Рациональное использование и охрана лесов*

– «Лесной кодекс Российской Федерации» от 04.12.2006 № 200-ФЗ.

*Рациональное использование и охрана биологических ресурсов*

– Федеральный закон от 17.02.1995 № 16-ФЗ «О ратификации Конвенции о биологическом разнообразии».

– Федеральный закон от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире».

– Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 № 166-ФЗ.

– Федеральный закон «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 24.07.2009 № 209-ФЗ.

– Федеральный закон «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.2013 № 148-ФЗ.

– Федеральный закон от 25.12.2018 № 475-ФЗ «О любительском рыболовстве и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

*Особо охраняемые природные территории*

– Федеральный закон от 23.02.1995 № 26-ФЗ «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах».

– Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 г. № 33-ФЗ.

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Организационно-правовые основы нормирования в области охраны окружающей среды</b> .....	<b>5</b>
1.1. Правовые основы в области охраны окружающей среды .....	5
1.2. Организационные основы охраны окружающей среды в Российской Федерации .....	18
1.3. Виды экологических нормативов .....	22
<b>2. Методологические и методические основы нормирования природного и антропогенного воздействий</b> .....	<b>35</b>
2.1. Современное состояние проблемы оценки устойчивости .....	38
2.2. Понятие и критерии оценки устойчивости .....	41
2.3. Методологические основы нормирования природного и антропогенного воздействий .....	48
2.4. Оценка устойчивости водных объектов на основе балльно-индексного подхода .....	52
2.5. Многокритериальная оценка устойчивости к естественному и антропогенному воздействиям .....	59
<b>3. Экологическое нормирование водных экосистем</b> .....	<b>65</b>
3.1. Источники и виды загрязнения поверхностных вод суши .....	68
3.2. Общеэкологический подход к нормированию качества воды .....	79
3.3. Нормирование качества воды водоемов и водотоков .....	83
3.4. Нормирование качества природных вод по гидробиологическим показателям .....	88
3.4.1. Классификация водоемов по степени сапробности .....	91
3.4.2. Нормирование качества воды по видовому разнообразию .....	92
3.4.3. Смешанные системы оценок, основанные на показательных значениях организмов и видовом разнообразии .....	93
3.4.4. Нормирование качества воды по микробиологическим показателям .....	93
3.5. Разработка нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов в водные объекты .....	95

<b>Литература</b> .....	<b>104</b>
<b>Приложение</b> .....	<b>111</b>
Перечень российских законов, регулирующих природопользование и охрану объектов окружающей среды в Российской Федерации.....	111

*Учебное издание*

**Примак Екатерина Алексеевна**, канд. геогр. наук  
**Зуева Надежда Викторовна**, канд. геогр. наук  
**Алексеев Денис Константинович**, канд. геогр. наук  
**Воякина Екатерина Юрьевна**, канд. биол. наук

**НОРМИРОВАНИЕ И СНИЖЕНИЕ  
НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

*Начальник РИО А.В. Ляхтейнен  
Редактор Л.Ю. Кладова  
Верстка М.В. Ивановой*

---

Подписано в печать 09.10.2020. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times New Roman.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,25. Тираж 30 экз. Заказ № 968.  
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79.

---