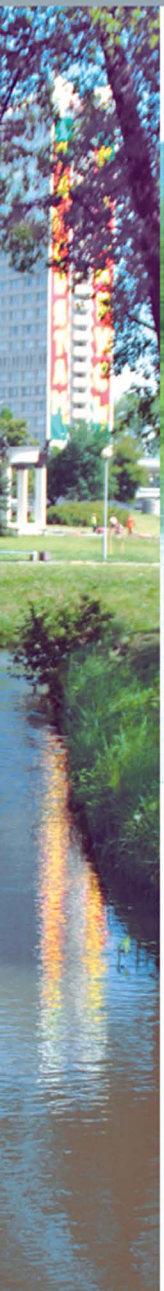

В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам

В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

2-е издание,
исправленное

Минск
«Беларуская навука»
2011

УДК 556.5.04:502.174

Семенченко, В. П. Экологическое качество поверхностных вод / В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий. — 2-е изд., испр. — Минск : Беларус. навука, 2011. — 329 с. — ISBN 978-985-08-1335-0.

В монографии изложены современные подходы и методы оценки экологического качества вод речных и озерных экосистем. Основное внимание уделено европейским принципам в соответствии с требованиями Европейской Рамочной Водной Директивы. В книге подробно изложены как общие положения, касающиеся определения экологического качества воды, так и методы расчета и применения биотических индексов и других показателей, отражающих качество воды. Рассмотрены наиболее широко используемые протоколы (RIVPACS, AQEM, STAR, RPBs), их структура, проведен сравнительный анализ различных подходов и биотических индексов. В приложении приведены примеры для расчета соответствующих индексов, а также необходимые таблицы.

Предназначена для специалистов, работающих в области мониторинга и охраны окружающей среды, гидробиологов, экологов, а также для преподавателей и студентов вузов.

Табл. 131. Ил. 47. Библиогр.: 260 назв.

Рецензенты:

доктор биологических наук В. М. Байчоров,
доктор биологических наук Л. В. Камлюк

ISBN 978-985-08-1335-0

© Семенченко В. П.,
Разлуцкий В. И., 2010
© Семенченко В. П.,
Разлуцкий В. И., 2011, с изменениями
© Оформление. РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наиболее точным и эффективным методом для оценки целостности водного объекта является состояние организмов, живущих в воде.

Karr, Chu, 2000

После выхода в свет монографии «Принципы и системы биоиндикации текучих вод» (Семенченко, 2004) автор получил целый ряд предложений по ее улучшению и расширению перечня вопросов, которые рассматривались в этой книге. Они в основном касались более подробного изложения отдельных разделов, принципов выделения эталонных створов, а также методов расчета биотических индексов. Было также высказано пожелание рассмотреть не только текучие воды, но и озерные экосистемы. Все эти пожелания мы постарались учесть в данной монографии.

Следует отметить, что за прошедший период появился целый ряд работ, в особенности по реализации Европейской Рамочной Водной Директивы (WFD) в различных странах, а также по методам ведения мониторинга поверхностных вод, которые мы также постарались включить в новое издание.

В монографии рассмотрены общие подходы к определению экологического качества воды в свете положений WFD, приведены примеры для расчета биотических индексов и уделено специальное внимание по их сравнительной оценке, дан дополнительный иллюстративный материал. Также рассмотрен ряд протоколов, разработка которых осуществлена в последние годы как шаг в реализации WFD. Учитывая тот факт, что количество биотических индексов, используемых в разных странах мира, очень велико, основное внимание уделено индексам, которые наиболее широко используются в странах Европы. В приложении приведены примеры расчетов биотических индексов, а также другая полезная информация, которая может быть использована в практических целях.

В монографии практически не рассматриваются подходы к оценке качества воды, которые характерны для Российской

Федерации. Они достаточно хорошо изложены в первом томе монографии Шитикова, Розенберга и Зинченко (2005). В первую очередь это вызвано тем фактом, что в основе этих подходов в большинстве случаев лежит система сапробности и ее различные модификации, которая используется в Европе только в странах бывшего социалистического лагеря. Учитывая тот факт, что эти страны должны в конечном итоге перейти на принципы, изложенные в WFD, дальнейшее развитие системы сапробности, но не ее идеологии, основанной на сапробной валентности видов (Zelinka, Marvan, 1961), остается под вопросом. В то же время, по мнению Rolauffs et al. (2004), система сапробности может быть достаточно легко интегрирована в подходы, изложенные в WFD, в том случае, когда будут созданы эталонные показатели, основанные на системе сапробности.

Основная цель этой книги — ознакомить широкий круг специалистов, занимающихся мониторингом и проблемами качества поверхностных вод, с современными подходами и системами биоиндикации в странах ЕС и США. Учитывая тот факт, что Республика Беларусь граничит с рядом стран ЕС, очевидно, что важным моментом в оценке экологического качества воды является сравнимость получаемых результатов в случае трансграничных вод. Поэтому вопрос единообразия и интеркалибровки различных подходов является в настоящее время одним из насущных.

Авторы надеются, что изложенные в монографии методы позволят исследователям улучшить оценки качества поверхностных вод в мониторинговых исследованиях.

Книга предназначена для специалистов, работающих в области охраны окружающей среды, мониторинга, гидробиологов, экологов, ихтиологов, а также для преподавателей и студентов вузов.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность кандидатам биологических наук М. Д. Морозу и Г. М. Тищикову за консультативную помощь и ряд предоставленных материалов, доктору Холли Такер за ряд предоставленных отчетов Агентства по защите окружающей среды (штат Огайо, США), профессору А. А. Протасову за ряд пожеланий по улучшению содержания монографии, а также Т. Н. Рыбкиной за помощь в проведении расчетов и техническом оформлении рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Контроль за состоянием качества поверхностных вод в первую очередь важен для разработки эффективных мер по их использованию и для принятия управленческих решений относительно водных ресурсов. Эти решения должны основываться на научно обоснованной оценке текущего состояния и основных тенденций в изменении качества водных ресурсов. Следует четко понимать, что материальные и технические проблемы, связанные с мониторингом поверхностных вод, не должны заслонять необходимость получения знаний о возможных последствиях для будущего.

В настоящее время системы мониторинга поверхностных вод как в США, так и в странах ЕС претерпели существенные изменения. Основа этих изменений — переход от чисто химического контроля на биологический, который основан на системе биоиндикации. *Биологический контроль* — это оценка состояния водных объектов, используя биологические свойства и другие прямые измерения резидентной биоты. Основной причиной перехода на биологический контроль является тот факт, что сообщества водных организмов отражают *совокупное* воздействие факторов среды на качество поверхностных вод.

В принятой в 2000 г. Европейской Рамочной Водной Директиве (WFD) указывается, что оценка экологического качества воды должна основываться на совокупных гидроморфологических, гидрохимических и гидробиологических данных. Отметим, что после принятия WFD понятие «биоиндикация» приобрело несколько иной смысл. Это относится не к идеологии биологического контроля как такового, а к методам определения экологического качества вод, которые в странах ЕС должны основываться на системе эталонных створов и показателей.

Основные принципы биоиндикации были разработаны Kolkwitz и Marsson (1902, 1908, 1909), которые ввели понятие сапробности и биологического самоочищения вод. В дальнейшем благодаря работам Pantle, Bock (1956), Sladecek (1965) и Zelinka, Marvan (1966) была разработана методология системы сапробности. С тех пор биоиндикация является неотъемлемой частью мониторинга поверхностных вод и оценки качества воды.

Результаты мониторинга требуют перевода научных данных в управленческие решения относительно водного ресурса. Подход, основанный на анализе биологических и других экологических данных, позволяет существенно облегчить их использование в системе управления.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

В разных странах существуют различные системы биоиндикации и определения экологического качества поверхностных вод, которые адаптированы к условиям региона и его специфике. Однако это не означает, что разработка этой системы в конкретной стране начинается с чистого листа. В настоящее время существуют, по меньшей мере, три системы, которые в той или иной степени используются различными странами. Это американская система RPBs (Rapid Bioassessment Protocols), британская RIVPACS (River Invertebrate Prediction and Classification System) и система сапробности, наиболее широко распространенная в странах бывшего Советского Союза и социалистического лагеря и направленная главным образом на оценку органического загрязнения.

Европейская Рамочная Водная Директива (WFD) дала существенный толчок развитию и совершенствованию систем биоиндикации и определения экологического качества поверхностных вод в странах ЕС. В частности, это относится к созданию сети эталонных створов, процессам интеркалибровки, унификации методов отбора проб, их обработки и последующему анализу. Был выполнен ряд специальных проектов (AQEM, STAR, REFCOND и др.), которые были направлены на разработку подходов, которые могли быть использованы странами ЕС для мониторинга водных объектов. В результате этого были сформированы основные протоколы для оценки экологического качества вод, которые устанавливают основные принципы и методы ведения мониторинга поверхностных вод, а также детализировано понятие «эталонный створ» и методика установления границ между классами качества вод. Кроме того, разработаны подходы к интеркалибровке различных методов в определении экологического качества поверхностных вод.

1.1. Европейская Рамочная Водная Директива (Water Framework Directive) и экологическое качество поверхностных вод

Европейская Рамочная Водная Директива (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy) была принята в 2000 г. Этот документ регламентирует подходы в политике охраны, использования и управления водными ресурсами и призван к 2015 г. гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС к управлению водными ресурсами и их охране.

Основная цель Директивы — достижение хорошего экологического статуса для всех водных систем. Основой экологического статуса водного объекта является *экологическое качество воды*. Под этим термином понимают структуру и функционирование сообществ водных организмов, которое отражает состояние водных масс. Чем выше экологическое качество воды, тем большее число различных таксонов может обитать в водном объекте и тем больше число функциональных групп. Очевидно, что для определения экологического статуса биологическая составляющая, основанная на данных о сообществах водных организмов, является решающей.

Экологические цели Директивы, установленные для поверхностных вод, направлены на то, чтобы достичь:

1) хорошего качества поверхностных вод;

2) хорошего экологического потенциала и химического состояния искусственных и сильно измененных водных объектов;

3) полного соответствия всем нормам и требованиям, которым должны удовлетворять охраняемые зоны.

Основные биологические показатели, которые используются при оценке экологической ситуации в бассейне реки или озере, включают состав и численность водной флоры, состав и численность донной беспозвоночной фауны, состав, численность и возрастную структуру рыбной фауны.

Для обеспечения сопоставимости результатов биоиндикации вводится специальная процедура, основанная на создании интеркалибровочной сети для оценки биологического состояния каждого типа водного объекта. Сеть строится таким

образом, чтобы по репрезентативным биологическим образцам можно было установить четкую границу переходов между высоким и хорошим качеством, а также хорошим и невысоким качеством. Каждая страна привязывает результаты, полученные в рамках национальной системы мониторинга, к интеркалибровочной сети. Процесс интеркалибровки в рамках WFD будет рассмотрен в параграфе 5.1. Следует специально отметить, что, согласно WFD, страны ЕС должны стремиться к «хорошему качеству» воды, а не к естественному. Там, где хороший уровень качества воды уже существует, его необходимо поддерживать.

Отсюда следует, что невозможно избежать влияния человека на окружающую среду. Однако требования к качеству поверхностных вод должны быть сформулированы так, чтобы с учетом местных условий добиться такого их состояния, когда влияние человека сводится к минимально возможному.

Если водные объекты подвергаются настолько сильному воздействию антропогенного характера, а их состояние является таким, что достижение хорошего состояния невозможно или чрезмерно дорого, могут быть установлены менее строгие экологические цели на основе определенных критериев, и должны быть предприняты все меры для предотвращения дальнейшего ухудшения состояния этих вод.

Европейская Рамочная Водная Директива тесно связана с европейской системой EUROWATERNET. Система EUROWATERNET — это процесс, посредством которого страны ЕС получают информацию о водных ресурсах (их качестве и количестве), которая необходима им для предоставления ответов на вопросы, заданные им его потребителями. Фактически EUROWATERNET — это информационная система, которая:

— использует данные из существующих национальных баз данных мониторинга и информационных баз;

— сравнивает подобное с подобным;

— имеет статистически стратифицированную конструкцию, приспособленную для решения конкретных задач и получения ответов на поставленные вопросы;

— обладает заданной мощностью и точностью.

Следует отметить, что требования EUROWATERNET к сетям мониторинга поверхностных вод гораздо шире, чем в WFD.

В первую очередь это относится к количеству станций наблюдений и типу объектов наблюдений. В частности, согласно EUROWATERNET, как эталонные, так и репрезентативные створы должны охватывать не только крупные водные объекты, но и реки 2-го и 3-го порядка и небольшие озера.

1.2. Основные принципы и понятия в системе биоиндикации и определения экологического качества поверхностных вод

Прежде чем перейти к рассмотрению вопросов, касающихся методов определения экологического качества вод, следует рассмотреть основные принципы и понятия, которые позволяют планировать и структурировать отдельные задачи.

1.2.1. Понятие биологической оценки (Biological Assessment) и биологической целостности (Biological Integrity)

Биологическая оценка — это определение состояния водного объекта, используя биологические исследования и другие прямые измерения для оценки состояния обитателей биоты поверхностных вод.

При биологических оценках состояние биоты определяют для различных уровней: структура, таксономический состав, состояние особей и биологические процессы (рис. 1.1), т. е. используется интегрированный подход.

Набор этих показателей является *биологическими критериями*, которые выступают в роли индикаторов. Другими словами, биологическая оценка — это оценка состояния методом использования биологических критериев (биоиндикаторов).

Следует различать научное понятие «индикатор» от понятия, которое используется в области менеджмента водных ресурсов. Индикаторы — это экологические компоненты (экологические единицы, структуры, процессы) и их меры, изменения которых могут быть определены в отличие от описательных или нормативных показателей (Heink, Kowarika, 2010).

Все изменения состояния биоты связаны с различными факторами среды. Поэтому в мониторинговых исследованиях

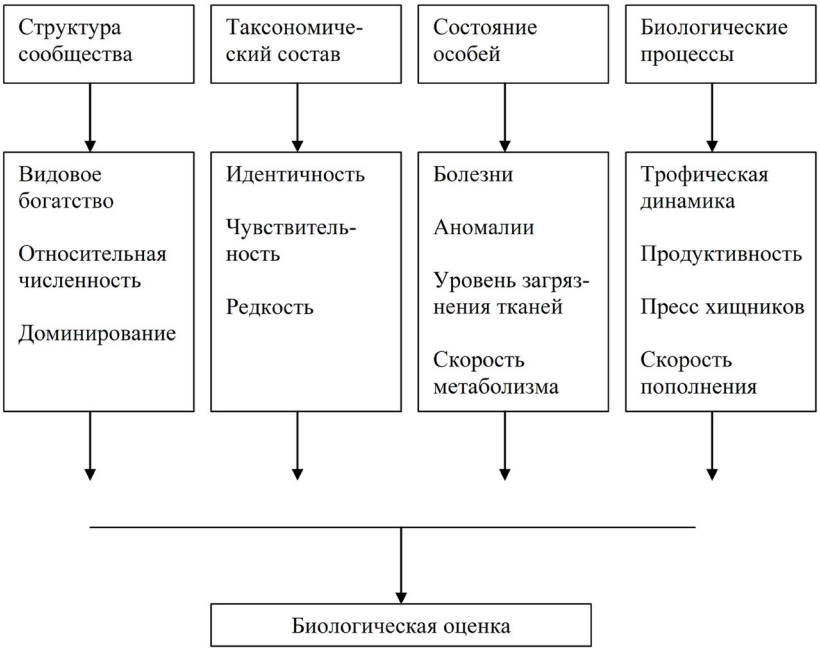

Рис. 1.1. Структурные элементы биологической оценки (по Biological Criteria: National Program Guidance for Surface Waters (EPA-440/5-90-004), 1990)

используется термин «среда обитания» (habitat). Изменение структуры среды обитания является одним из основных факторов при оценке состояния водных экосистем (Karr et al., 1986).

В широком смысле под «средой обитания» подразумевают качество водного объекта и прибрежной среды, которые воздействуют на структуру и функционирование водных сообществ.

В более узком смысле под этим понимаются физическая и химическая составляющие вместе с биотическими взаимодействиями. Например, изменение состава донных отложений может приводить к изменению в трофических группах, что, в свою очередь, вызывает изменение трофических взаимодействий. Увеличение фосфорной нагрузки на водоем приводит к массовому развитию синезеленых водорослей и соответственно к изменению видового состава зоопланктона. Поступление

болотных вод вызывает снижение pH и увеличение цветности воды (Semenchenko, Rybianets, 2006).

Важным моментом при биологических оценках является выбор биологических критериев, которые бы свидетельствовали об ухудшении качества воды. Присутствие, число и состояние рыб, насекомых, водорослей, растений и других организмов — это данные, которые совокупно обеспечивают прямую и точную информацию о состоянии водных масс. Таким образом, биологические критерии являются способом описать то состояние водных организмов, которое в данный момент наблюдается для какого-либо водного объекта, и соответственно сравнивать его со стандартом (reference condition), по которому проводится это сравнение. Отклонение от этого стандарта и будет свидетельствовать о происходящих изменениях.

Биологические критерии основываются, как правило, не на простых, а на интегральных величинах: индексах состава, разнообразия и функциональной организации сообществ, а также на биотических индексах. Очень часто предполагают, что биологические критерии альтернативны химическим качественным (количественным) критериям. В действительности эти два подхода дополняют друг друга. Биологические критерии не заменяют химические и токсикологические методы. Методы гидрохимии необходимы для того, чтобы предсказать риски (особенно человеческому здоровью и живой природе), а также диагностировать и регулировать проблемы, возникающие вследствие поступления токсикантов. Однако химические критерии не учитывают один важный факт — *взаимодействие* различных факторов (синергический эффект), которое может приводить к усилению воздействия (Сущеня и др., 1990). Например, возникновение веществ, которые образуются в результате химической реакции и воздействие которых может оказаться гораздо более значительным, чем исходные простые загрязнители.

Поскольку биологические критерии способны реагировать на различные типы качественных ухудшений среды и, в частности, характеризуются различными уровнями чувствительности, они способны обнаружить некоторые типы ухудшения, которые не могут дать токсикологические методы. Поэтому биологические критерии используются не вместо или в проти-

вовес химическим и токсикологическим методам, а совместно с ними. Следует подчеркнуть, что биологические критерии устанавливают биологическое (экологическое) качество вод, а не максимальный допустимый уровень загрязнителя или накопления токсиканта в теле водных организмов или количество загрязнителя, вызывающего гибель организмов, т. е. предельно допустимые концентрации (ПДК).

Как и ко всем критериями, к биологическим также применимы некоторые ограничения. В связи с этим возникает вопрос об их чувствительности. Несколько факторов влияют на чувствительность биологических критериев:

1) использование компонентов сообществ, которые не чувствительны к воздействию;

2) высокая естественная изменчивость, которая мешает обнаруживать реальные различия;

3) типы воздействий, которые могут быть обнаружены другими методами (например, химические критерии могут обеспечить более ранние признаки ухудшения вследствие биоаккумуляции химических веществ в теле организмов).

Данные по биологическим оценкам играют ключевую роль при определении экологического качества водной среды. Один из самых надежных способов ответить на основные вопросы о качестве поверхностных вод заключается в непосредственном определении состояния растений и животных, которые живут в них. Поскольку водные растения и животные постоянно подвергаются воздействию различных факторов среды, их сообщества отражают не только текущие условия, но также и изменения в этих условиях в предыдущий промежуток времени и их совокупное воздействие на биоту.

Биологические оценки являются основным элементом для управления водными ресурсами и экосистемами в странах ЕС и США. Они также могут быть использованы для того, чтобы оценить качество водной среды, идентифицировать основные факторы, способствовать защите и восстановлению водных объектов, оценить эффективность действий по их управлению и использованию.

Каждый тип критериев (биологические, химические, токсикологические) имеют различную чувствительность и различные цели. Часто только один критерий не в состоянии об-

наружить реальные ухудшения. Следовательно, усилия, предпринимаемые для оценки биологической целостности водного объекта, должны основываться на широком спектре показателей (Biological Criteria, 2002), т. е. различные методы должны использоваться вместе в интегральной оценке качества поверхностных вод, и только тогда они обеспечивают мощную и эффективную основу для управления водными ресурсами.

Биологическая целостность (Biological Integrity). Биологическую целостность обычно определяют как «способность поддерживать сбалансированное, целостное и адаптивное состояние сообщества организмов, имеющих видовую структуру, разнообразие и функциональную организацию, сравнимую с естественными внутри определенного региона» (Karr, Dudley, 1981). Биологическая целостность сообщества — это то состояние сообщества, которое существовало до появления антропогенных факторов (т. е. в древнее время), или когда это воздействие отсутствует в настоящее время, или оно минимально. Таким образом, биологическая целостность сообщества соответствует понятию эталонных условий (reference conditions).

Компонентами биологической целостности выступают различные уровни организации биоты: от генетической до экосистемной. Выбор того или иного уровня диктуется специфическими целями. Так, если необходимо оценить воздействие какого-либо токсиканта, поступившего в водоем, то для этих целей используют организменный (иногда популяционный) уровень. Если же речь идет о долговременных эффектах — используют уровень сообществ.

Биологическая целостность часто рассматривается как способ определить «здоровье» экосистемы (табл. 1.1).

Как следует из табл. 1.1, «здоровье» экосистемы в основном связывают с ее устойчивостью, и если данная устойчивость нарушена, то такая экосистема теряет свой исходный (здоровый) статус. Соответственно здоровая экосистема требует минимальной внешней поддержки (Karr et al., 1986).

Очевидно, что в настоящее время трудно найти экосистему, которая бы полностью соответствовала понятию ненарушенной. Поэтому чаще всего используют понятие минимально нарушенной экосистемы, вместо эталонной.

Таблица 1.1. **Некоторые определения экологического «здоровья» экосистемы (по Chessman, 2002)**

Автор	Определение
Haskell et al. (1991)	Экологическая система здорова ... если она стабильна и устойчива, т. е. если она активная и способна поддерживать свою организацию и автономию в течение времени и устойчива к стрессу
Ulanowicz (1992)	Здоровая экосистема — это такая экосистема, чья траектория по направлению к климаксу относительно беспрепятственна и чья структура гомеостатична к воздействиям. Это позволяет ей возвращаться назад к более ранним сукцессионным стадиям
Suter (1993)	Здоровье экосистемы — это метафора, а не наблюдаемое свойство
Karr (1996)	Здоровье ... подразумевает под собой процветающее состояние, благосостояние и жизнеспособность
Schofield, Davies (1996)	Здоровье реки означает степень сходства с эталонной рекой того же типа, особенно в терминах биологического разнообразия и экологического функционирования
Meyer (1997)	Экосистема, которая является жизнеспособной и упругой, поддерживая экологическую структуру и функционирование в течение времени…
Hawkins (2000)	Здоровье — это стенография хороших условий

1.2.2. Понятие экологического статуса и состояния водного объекта

Несмотря на тот факт, что выражение «экологический статус» очень широко используется в литературе, существует целый ряд разночтений этого понятия.

В проекте REFCOND дается следующее определение понятия «экологический статус»: это состояние качества структуры и функционирования водной экосистемы, связанной с поверхностными водами, классифицируемыми в приложении 5 WFD (т. е. реки, озера, переходные воды, прибрежные воды и искусственные и сильно измененные водные объекты).

Предполагается, что для определения экологического статуса необходимо оценить степень нарушения экосистемы. Это положение является основным в различных системах мониторинга поверхностных вод. Фактически речь идет об определении отклонения изучаемой экосистемы от некоторого есте-

ственного состояния (нормы), под которым понимают эталонные условия (reference conditions).

Однако не следует связывать естественность и цели управления водными ресурсами. Как указывают Schofield, Davies (1996), существует целый ряд проблем, связанных со стремлением возвратить состояние водного объекта к естественному или близкому к нему состоянию. Во-первых, естественность не является реалистичной целью для управления речными и озерными бассейнами, так как это требовало бы социально и экономически недопустимого устранения человеческой деятельности из бассейнов рек и озер. Во-вторых, приравнивание экологического статуса к естественности не позволяет установить цели управления (Norris, Thoms, 1999). В-третьих, в целом ряде регионов Европы фактически не осталось речных и озерных экосистем, которые могли бы классифицироваться как здоровые или естественные.

Если экологический статус водного объекта — это степень отклонения показателей, характеризующих его биоту, от эталонных условий, то его можно ранжировать в количественных показателях, сравнивая метрики для эталонных створов с такими же метриками для тестируемых створов.

В Приложении к WFD, параграф 1.4. «Классификация и представление экологического состояния», подпараграф 1.4.1. «Сравнимость результатов биологического мониторинга» указывается: «Для того чтобы гарантировать сравнимость систем мониторинга, результаты наблюдений, используемых каждым государством — членом ЕС, должны быть выражены в виде коэффициентов экологического качества с целью классификации экологического состояния. Эти коэффициенты являются соотношением между величинами биологических параметров для данного водного объекта и величинами этих параметров в эталонных условиях. Коэффициент выражается в виде числового значения от нуля до единицы, когда хорошее экологическое состояние характеризуется величинами, близкими к единице, а плохое — величинами, близкими к нулю».

Таким образом, данный коэффициент EQR (ecological quality ratio) (в некоторых публикациях используется выражение ecological quality index — EQI) является частным от деления метрики для какого-либо створа на метрику эталонного створа (рис. 1.2):

EQR = метрика на тестируемом створе/метрика на эталонном створе.

Согласно WFD, классификация экологического статуса речного бассейна, реки или водоема имеет следующий вид (табл. 1.2).

Таблица 1.2. **Общая классификация экологического состояния (статуса) речного бассейна или водоема согласно WFD**

Качество	Высокое качество	Хорошее качество	Посредственное качество	Низкое качество	Плохое качество
Цвет	Синий	Зеленый	Желтый	Оранжевый	Красный
Степень отклонения	**Отсутствие** или очень незначительные изменения биологических, физико-химических и гидроморфологических элементов качества	**Слабые** отклонения биологических элементов качества от *эталонных* значений	**Умеренные** отклонения биологических элементов качества от *эталонных* значений	**Значительные** отклонения биологических элементов качества от *эталонных* значений	**Критические** отклонения биологических элементов качества от *эталонных* значений

Как следует из табл. 1.2, основная проблема заключается в установлении границ между эталонными условиями и высоким статусом, высоким статусом и хорошим статусом и т. д. Согласно последним определениям, различия между эталонными условиями и высоким статусом должны быть очень незначительными (рис. 1.2).

Высокий статус для макрозообентоса рек означает:

1) отсутствие различий в соотношении между чувствительными и нечувствительными таксонами для эталонных условий и условий, которые характеризуются как высокий статус;

2) отсутствие аналогичных различий в величинах биоразнообразия;

3) таксономическая структура и численность должны близко или полностью соответствовать эталонным условиям;

4) для указанных метрик допустимо небольшое отклонение от эталонных условий.

Хороший статус для макрозообентоса рек означает небольшое отклонение от высокого статуса. Если принять данное

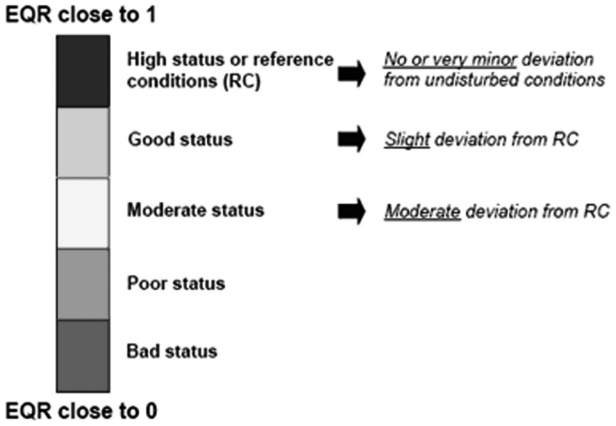

Рис. 1.2. Экологический статус водного объекта (из REFCOND, 2003)

определение, то необходимо определить понятие «небольшое отклонение». Как будет показано в подпараграфе 1.2.6, небольшое отклонение означает различие между метриками не более чем на 25%, а в действительности — около 20%. Если для озер эти различия в некоторых широко используемых метриках можно четко определить (например, величины прозрачности или содержание хлорофилла «а» и растворенного фосфора), то для речных экосистем это сделать гораздо труднее, ввиду того что многие используемые метрики являются не абсолютными, а относительными или рассчитываются по сумме определенных показателей.

Понятие экологического статуса присутствует во всех системах мониторинга поверхностных вод. В первую очередь это связано с тем, что оценка состояния, с одной стороны, и управление водными ресурсами, с другой, имеют различные цели. Оценка состояния является основой для создания плана управления водным бассейном, однако это не означает, что экологическое состояние водных ресурсов, согласно плану управления, будет соответствовать или приближаться к естественному. Согласно WFD, следует стремиться к хорошему статусу водных ресурсов, который по критериям WFD не является естественным.

Оглавление

Предисловие 3

Введение 5

Глава 1. **Основные принципы и системы определения экологического качества поверхностных вод** 7

1.1. Европейская Рамочная Водная Директива (Water Framework Directive) и экологическое качество поверхностных вод 8
1.2. Основные принципы и понятия в системе биоиндикации и определения экологического качества поверхностных вод 10
1.2.1. Понятие биологической оценки (Biological Assessment) и биологической целостности (Biological Integrity) 10
1.2.2. Понятие экологического статуса и состояния водного объекта 15
1.2.3. Принцип речного бассейна и интегрального подхода 19
1.2.4. Понятие эталонных створов (reference sites) и эталонных условий (reference conditions) 24
1.2.5. Метрика 36
1.2.6. Определение градаций экологического качества воды 41
1.2.7. Основные принципы выбора биоиндикаторов 47
1.2.8. DPSIR-схема и экологическое качество воды 49

Глава 2. **Протоколы** 51

2.1. Оценка местообитаний как основа протоколов 51
2.2. Протокол RIVPACS 53
2.3. Протокол AQEM 58
2.4. Протокол STAR 61
2.5. Протокол RBPs 63
2.6. Сравнительный анализ различных протоколов 74

Глава 3. **Метрики и биотические индексы для речных экосистем** 80

3.1. Метрики, основанные на видовом богатстве и соотношении таксономических и функциональных групп 80
3.2. Биотические индексы 90
3.2.1. Trent Biotic Index (TBI) 91
3.2.2. Extended Biotic Index (EBI) 93

3.2.3. Biological Monitoring Working Party Index (BMWP) 95
3.2.4. Average Score Per Taxon Index (ASPT) 96
3.2.5. Family Biotic Index (FBI) 98
3.2.6. Belgian Biotic Index (BBI) 101
3.2.7. Indece Biologique Global Normalize (IBGN) 104
3.2.8. Index of Biotic Integrity (IBI) 107
3.2.9. European Fish Index (EFI+) 111
3.2.10. Invertebrate Community Index (ICI) 127
3.2.11. Danish Stream Fauna Index (DSFI) 128
3.2.12. Citizen Monitoring Biotic Index (CMBI) 132
3.3. Использование макрофитов как сообщества для определения экологического качества воды 134
3.4. Трофические индексы для речных экосистем 139

Глава 4. **Биоиндикация и экологическое качество вод озерных экосистем** 143
4.1. Общие замечания 143
4.2. Концепция биокритериев и их использование для оценки экологического качества озер и водохранилищ в соответствии с WFD..... 144
4.2.1. Параметры, используемые для оценки качества воды озер Европы в рамках WFD..... 146
4.2.2. Параметры, используемые для оценки качества воды в озерах в американской системе агентства по защите окружающей среды (USEPA) 147
4.2.3. Нормативные определения экологического статуса озер в WFD 149
4.3. Трофические индексы для озерных экосистем..... 155
4.4. Биоиндикация озерных экосистем по фитопланктону 158
4.4.1. Британская система оценки экологического статуса озер по фитопланктону 159
4.4.2. Немецкий индекс оценки экологического состояния озер по фитопланктону (Phyto-See-Index (PSI)) 164
4.4.3. Индекс сообществ (Q индекс) 170
4.4.4. Метрики фитопланктона в системе биоиндикации озер USEPA 173
4.5. Использование макрофитов для биоиндикации озер..... 175
4.5.1. Классификация состояния европейских озер по макрофитам 178
4.5.2. Индексы, основанные на видовом составе и разнообразии макрофитов..... 184
4.5.3. Индексы, основанные на обилии макрофитов 186
4.6. Использование макрозообентоса для биоиндикации озер 191
4.6.1. Связь относительного обилия индикаторных видов макрозообентоса с концентрацией общего фосфора 193
4.6.2. Связь концентраций общего фосфора с отдельными метриками AQEM 194
4.6.3.Влияние ацидофикации на макрозообентос озер 198
4.6.4. Биотические индексы для озерных экосистем..... 202
4.6.5. Рекомендации по использованию макрозообентоса для оценки экологического качества озер 210

4.7. Использование зоопланктона для биоиндикации озерных экосистем 211
4.7.1. Параметры сообщества зоопланктона в разнотипных мелких озерах 211
4.7.2. Индексы, основанные на различных группах пелагического зоопланктона 214
4.7.3. Многолетние изменения в сообществе различных групп зоопланктона 215
4.7.4. Зоопланктонный индекс для определения экологического статуса лентических водоемов Беларуси 217
4.7.5. Параметры зоопланктонных сообществ, рекомендуемые USEPA для биоиндикации озер 222
4.8. Использование ихтиофауны для биоиндикации озерных экосистем 223
4.8.1. Австрийский индекс специфических сообществ рыб для определенного типа озер (LFI) 224
4.8.2. Итальянский индекс LFI 228
4.8.3. Метрики, основанные на рыбном населении в USEPA 230

Глава 5. **Сравнительный анализ различных метрик, проблемы их интеркалибровки и адаптации** 233

5.1. Проблемы интеркалибровки различных подходов к определению экологического качества поверхностных вод 233
5.2. Сравнительный анализ структурных показателей макрозообентоса 240
5.3. Сравнительный анализ биотических индексов 243
5.4. Проблемы региональной адаптации биотических индексов 246

Приложения 251

Литература 309

Научное издание

Семенченко Виталий Павлович
Разлуцкий Владимир Ильич

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

2-е издание, исправленное

Редактор *А. А. Баранова*
Художественный редактор *И. Т. Мохнач*
Технический редактор *М. В. Савицкая*
Компьютерная верстка *Л. И. Кудерко*

Подписано в печать 28.09.2011. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 19,2. Уч.-изд. л. 16,6. Тираж 120. Заказ 234.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука». ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009.
Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.