БИОЛОГИЯ

УДК 628.394.1(28):574.632

О КАЧЕСТВЕ ОЦЕНОК И ПРОГНОЗЕ ДЕГРАДАЦИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ КРУПНЫХ ОЗЕР)

© 2012 г. С.В. Кренёва[1]

Поднимается вопрос о проблемах и методологической основе контроля загрязнения крупных водоемов. На материалах четырехлетних гидробиологических исследований Ладожского и Онежского озер в сочетании с непрерывной записью гидрофизических и гидрохимических показателей в съемках было разработано принципиально новое холистическое направление в методологии контроля антропогенного загрязнения вод. Этот подход открыл широкие возможности и перспективы в контроле, прогнозе и ранней диагностике. Он позволил впервые обнаружить признаки не прогнозированном ранее изменения статуса Ладожского озера как большого олиготрофного водоема. Обсуждаются преимущества и необходимость срочного внедрения современной методологии в контроль загрязнения и оценку состояния озера Байкал и других крупных водоемов.

Ключевые слова: водные экосистемы, загрязнение, антропогенная сукцессия, ранняя диагностика, прогноз.

Одна из наиболее актуальных задач современности заключается в необходимости сохранения в приемлемом состоянии запасов пресных, и в первую очередь питьевых вод [1 и др.]. Однако она осложняется проблемами экономического, политического, социального и научного характера. При выборе административных решений необходимо иметь научно обоснованную оценку состояния водных экосистем, и в первую очередь биоценозов, обеспечивающих качество вод каждого конкретного водного источника. Важно адекватно оценить опасность их скорой деградации и дать прогноз возможных сценариев дальнейшего развития событий.

С начала XX в. повсеместно регистрируются стремительные темпы загрязнения и эвтрофирования поверхностных вод суши [2–4 и др.]. Однако разработанные в XX в. многочисленные методы биологического контроля загрязнения водоемов в большинстве своем не имели фундаментальной теоретической основы и в принципе были не в состоянии обеспечить раннюю диагностику, надежный контроль и прогноз дальнейших изменений в экосистемах [5–10 и др.]. Так, наиболее широко принятые в гидробиологии системы сапробных индикаторов оказались непригодны в качестве основы динамического изучения экосистем [7]. Анализируя состояние методологии контроля загрязнения вод, Г.Г. Винберг подчеркивал [8], что создание единой научно обоснованной и апробированной на практике системы биологического анализа загрязненных вод является весьма актуальной задачей.

Решающим толчком к возникновению подобной системы послужила проблема загрязнения Байкала промышленными стоками построенного в 1967 г. Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК). Озеро Байкал будучи вместилищем 90% запасов питьевой воды России, – бесценный самовоспроизводящийся за счет своей эндемичной биоты ресурс воды высшего качества. Однако в условиях столь огромного уникального озера с мощной системой течений пытаться регистрировать признаки влияния сточных вод БЦБК на его экосистему с помощью общепринятых в то время методов было бесперспективно. В связи с этим была начата разработка новых подходов и методов, способных обеспечить не только надежный контроль антропогенного влияния на водные экосистемы, но также раннюю диагностику нарушений в функционировании и прогноз дальнейших изменений в экосистеме.

Главная особенность загрязнения больших олиготрофных озер – длительный период скрытой фазы загрязнения [9]. Причиной является специфика их гидродинамики: мощные течения и наличие двух основных водных масс, разделяемых в тече-

[1] Азовский филиал Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН, 344006, Ростов-на-Дону, Чехова, 41; тел. (863) 250-98-19; e-mail: HYPERLINK "mailto:sofia@ssc-ras.ru" sofia@ssc-ras.ru

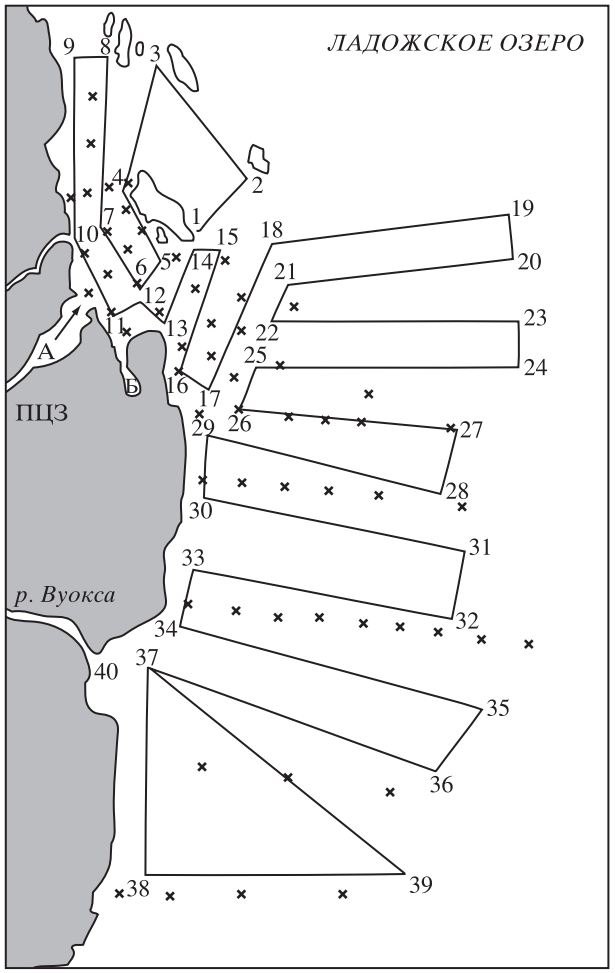

Рис. 1. Схема буксировочных съемок и каротажных станций (×) в районе выброса сточных вод Приозерского целлюлозно-бумажного завода (ПЦЗ). А – озеро Дроздово; Б – залив Щучий. Цифрами обозначены точки отбора проб

ние большей части года термобаром и термоклином. Это создает условия для более длительной стабильности видового состава гидробионтов в центральной водной массе. В периоды активного перемешивания вод при весенней и осенней гомотермии центральная водная масса пополняет видовой состав прибрежной. Это одна из причин, по которым системы сапробности видов-индикаторов и другие традиционные методы, разработанные для мелких водоемов, неприменимы в столь крупных озерах. Уловить влияние загрязнения на биоценоз в условиях быстрого разбавления и разнонаправленного распространения сточных вод, зависящего от метеоусловий, методически сложно. Для выраженной реакции гидробионтов требуется, как правило, более длительное воздействие негативного фактора. Накопление загрязняющих веществ в озере происходит долго и почти незаметно до тех пор, пока их концентрации во всем водоеме не достигнут значительных величин, что запускает механизм необратимых изменений в биоценозе [9].

Цель настоящей работы – показать на конкретном примере сложности и методологические возможности своевременного обнаружения признаков нарушения равновесия в функционировании водных экосистем, вызванных антропогенным загрязнением вод, и опасность запаздывания оценки и прогноза состояния водных экосистем крупных водоемов.

В качестве модели при разработке системы методов контроля антропогенного загрязнения больших озер нами были использованы относительно близкие заданным условия на Ладожском и Онежском озерах. Исследования были проведены в составе гидрофизической экспедиции, руководимой профессором Н.А. Лабзовским (Институт озероведения), в 1973–1976 гг. Гидробиологические наблюдения сопровождались измерением гидрофизических и некоторых гидрохимических параметров вод, получаемых с помощью разработанных отечественных датчиков, используемых in situ с непрерывной записью на ленты самописцев [4, 9]. В первый день съемки научно-исследовательское судно “Лимнея” проходило галсами загрязняемый район, буксируя датчики в верхних горизонтах (в которых преимущественно и распространялись в холодном озере более теплые сточные воды). Съемки охватывали акватории в несколько десятков квадратных километров (рис. 1), создавая картину практически одномоментного распределения загрязненных вод в районах поступления промышленных стоков. В последующие 2–3 дня с помощью тех же датчиков осуществлялись каротажные съемки от поверхности до дна по дискретной сетке станций в том же районе.

В качестве информативного биологического показателя был выбран микрозоопланктон [11] как наиболее чувствительное, быстро реагирующее количественными и структурными характеристиками на изменения условий среды сообщество (табл. 1). Дискретные наблюдения микрозоопланктона проводились одновременно с гидрофизическими в буксировочных съемках путем отбора проб воды ведром с поверхности на тихом ходу судна по заранее намеченной сетке. Они дополнялись в ходе съемки пробами, отбираемыми в местах выраженных градиентов согласно показаниям датчиков. В каротажных съемках пробы отбирали по горизонтам батометром, также ориентируясь на показания датчиков и результаты предварительной буксировочной съемки. Данные гидробиологических, гидрофизических и гидрохимических наблюдений получали синхронно и в количестве, достаточном для статистической обработки и проверки.

Таблица 1. Состояние микрозоопланктона в разных районах одного крупного водоема в зависимости от загрязненности (оз. Ладожское, 1973–1976 гг.)

Прибрежные районы (шхеры, заливы)	*n*	Численность инфузорий, экз/л		Численность коловраток, экз/л		ИНЭК*	
		Min–max	Сред.	Min–max	Сред.	Min–max	Сред.
Питкярантский	212	0–3472	457	0–1204	84	0,0–39,0	8,7
Сюскюянлахти	14	90–432	244	11–110	45	4,6–26,4	6,5
Сортавальский	222	24–11680	850	2–1020	123	0,2–39,0	6,7
Якимварский (относительный контроль)	56	8–620	204	8–810	134	0,3–6,6	2,3
Куркийоки и Найсмери (контроль)	40	6–548	176	6–316	114	0,5–3,0	1,6

Примечания. * ИНЭК – индекс эвтрофирования Креневой, рассчитываемый по соотношению численности инфузорий и коловраток в микрозоопланктоне [9]; *n* – количество наблюдений.

Полученные таким образом обширные материалы позволили разработать ряд новых методов и показателей для гидробиологического контроля. Один из них – интегральный индекс загрязнения [12], рассчитанный по всему комплексу гидрохимических и гидрофизических параметров наблюдения, предназначенный для достоверного выделения загрязненных зон, потоков и линз в условиях сложной гидродинамики (рис. 2). Сопоставление динамики этого индекса с динамикой численности планктона позволило разделить район влияния сточных вод на отдельные зоны, в которых в зависимости от концентрации сточных вод характер их влияния менялся от угнетения к стимулированию развития планктеров [9, 12 и др.].

Это позволило регистрировать реакцию биоты на сточные воды разной концентрации в самых сложных условиях их быстрого разбавления и переноса в меняющихся направлениях под влиянием аэродинамических и гидрологических условий. Широкое использование в дальнейшем разнообразных математических методов при обработке и анализе материала позволяло достоверно выявлять реакцию биоты в зависимости от степени разбавления сточных вод, ранжировать факторы по степени их влияния и даже аппроксимировать при необходимости гидробиологические показатели на дополнительные точки по физико-химическим показателям с помощью регрессионных моделей [4, 9]. Все это дало много дополнительной и надежной информации об изучаемых процессах. Однако без теоретической основы даже такой ценный и уникальный материал дает недостаточно сведений для налаживания надежного контроля и прогнозирования состояния экосистемы в обычных и разнообразных условиях [8].

В районах поступления сточных вод городов и крупных предприятий на Ладожском озере нами было зарегистрировано наличие фронтов повышенного уровня эвтрофирования. Это подтвердило гипотезу профессора И.И. Николаева, наблюдавшего ранее фронты повышенной трофности в Финском заливе Балтийского моря, о связи этого явления с определенным уровнем загрязненности вод.

Следует отметить, что в начале XX в. группой американских ученых была проведена серия оригинальных исследований на небольшой речке (р. Литтл Крик) с одним источником загрязнения. В результате была описана динамика количественных показателей среды и гидробионтов в процессе постепенной трансформации ими сточных вод [2]. Так впервые была описана сукцессия в однонаправленном загрязненном потоке и представлена наглядная схема (рис. 3) динамики всех измеряемых показателей, а также структуры биоценоза по мере удаления от источника загрязнения [3].

Необходимо уточнить, что в определении самого понятия сукцессии следует придерживаться не формулировки Одума [13], относящейся к растительным сообществам, а более общего определения, данного Р.Е. Риклефсом [14]. На наш взгляд, в определение Р.Е. Риклефса следует добавить весьма существенное слово “закономерная” с тем, чтобы подчеркнуть взаимосвязанность и взаимообусловленность всех процессов. Таким образом, *сукцессия – это закономерная последовательность изменений, происходящих в нарушенном местообитании*. Изучение всех проявлений сукцессии, отражающей глобальные законы развития и старения всего живого в природе [15], открывает безграничные возможности для разработки методологии экологического контроля загрязненных вод в самых разных направлениях [16].

Наши исследования на Ладожском и Онежском озерах позволили выделить в ряде районов (Приозерский, Питкярантский, Кондопожский, Сортавальский и др.) зоны различного состояния планктонных сообществ в зависимости от концентрации сточных вод [4, 9]. Было показано, что в процессе разбавления и трансформации загрязненных вод количественные характеристики планктона меняются

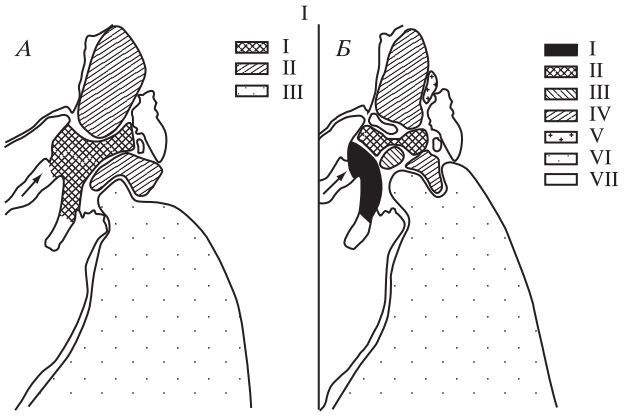

Рис. 2. Зоны загрязнения в районе выброса сточных вод ПЦЗ в 1974 г., установленные: А – по численности микрозоопланктона с помощью индекса загрязненности Креневой [12] (I – токсическая; II – эвтрофная; III – фоновая); Б – методом "КЛАСС" из распознавания образов по комплексу всех измеряемых параметров (I–VII – участки, сгруппированные по принципу наибольшего сходства точек наблюдения внутри каждого, т.е. по сути отличающиеся степенью разбавления сточных вод)

в полном соответствии с кривой пространственной антропогенной сукцессии[2]. Так, при больших концентрациях сточных вод наблюдается угнетение ценозов, несмотря на максимальное обилие питательных веществ. Численность гидробионтов снижается, на отдельных участках падая до нуля. Такие условно мёртвые зоны были обнаружены и оконтурены в районах выброса сточных вод целлюлозно-бумажных заводов (ЦБЗ) городов Приозерска, Питкяранты и Кондопоги. Вслед за зоной угнетения практически всегда можно было наблюдать в той или иной степени выраженную зону эвтрофирования с количественными показателями планктона, заметно превышающими фоновые характеристики (рис. 4). Размеры, формы и стабильность этих зон в больших озерах, а также градиенты количественных характеристик зависели от гидрологических и метеорологических условий. Позже аналогичные зоны были отмечены и на Байкале, в районе БЦБК [17].

Наиболее выраженные количественные характеристики и большие по площади зоны были обнаружены в районе г. Питкяранта (см. рис. 4). Обусловлено это было замедленным разбавлением сточных вод благодаря большому количеству островов, прикрывающих район поступления сточных вод от воздействия мощных течений. В этом случае зоны загрязнения имели почти правильную радиальную форму и четкую последовательность. Столь же выразительными были и градиенты как физико-химических, так и биологических характеристик вод. Так называемая мёртвая зона в тихую погоду занимала внушительную акваторию до квадратного километра.

В отличие от питкярантских шхер в районе открытого прибрежья, в которое поступали сточные воды Приозерского целлюлозно-бумажного завода (ПЦЗ), картина распространения загрязненных вод имела самую сложную и неустойчивую форму. Градиенты биологических показателей за счет быстрого разбавления были заметно ниже. Тем не менее разработанный нами методический подход позволил выделять зоны и определять, при какой степени разбавления сточных вод ПЦЗ планктонный ценоз наиболее активно включается в процессы самоочищения вод. Необходимо учитывать, в какой степени гидрологические особенности района поступления сточных вод позволяют развиться процессам самоочищения, поскольку разбавление не помогает, а мешает самоочищению вод. Быстрое разбавление

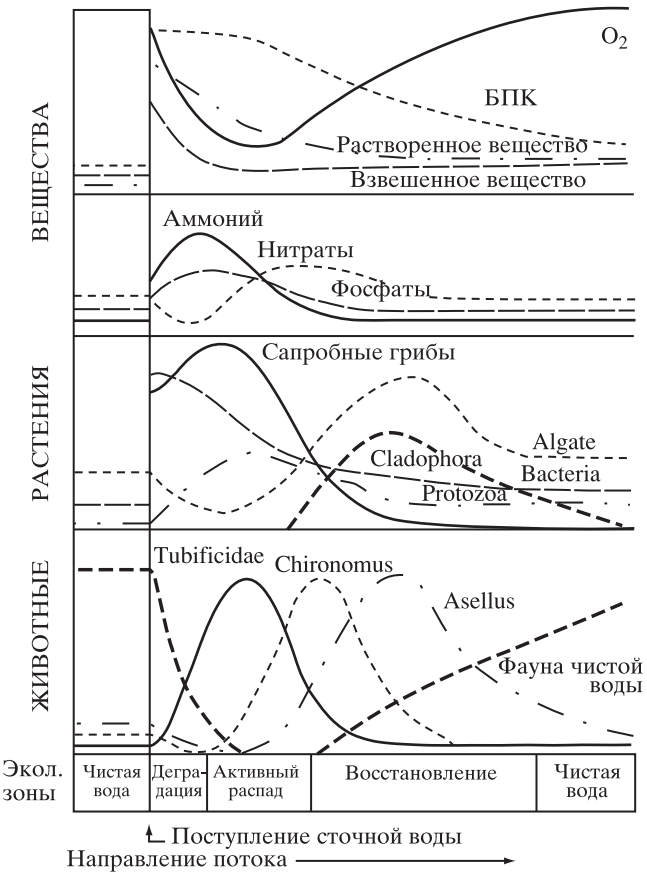

Рис. 3. Схема сукцессии загрязненного потока по [4], она же соответствует антропогенной пространственной сукцессии по [15]. БПК – биологическое потребление кислорода

[2] Под пространственной антропогенной сукцессией автор понимает изменение состояния ценозов, наблюдаемое за минимальный отрезок времени на определенной акватории по мере удаления от источника загрязнения до фоновых характеристик вследствие трансформации и разбавления сточных вод [16].

сточных вод в крупных водоемах – основной фактор, ограничивающий возможности интенсивного самоочищения вод, которое происходит преимущественно в эвтрофных зонах.

В небольшом водотоке, как на приведенной выше схеме (см. рис. 3), можно наблюдать последовательное вступление разных трофических групп гидробионтов (начиная от низших гетеротрофов – бактерий, простейших, грибов и одноклеточных водорослей) в процессы утилизации питательных веществ сточных вод. Этим достигается наиболее полная утилизация биогенных и органических веществ и передача энергии по трофической цепи. Растет шанс изъятия органических веществ из экосистемы в виде продукции промысловых объектов, что способствует снижению темпов эвтрофирования водоема. Показателем такого развития сюжета служит постепенное, плавное снижение всех показателей от эвтрофной зоны до фонового для данного водоема уровня.

В крупных водоемах под действием быстрого разбавления питательных веществ все показатели сукцессии снижаются более резко, не успев достигнуть оптимального для самоочищения максимума. Вторичные гетеротрофы, как правило, не успевают отреагировать на эвтрофирование. Поэтому недоиспользованные органические и минеральные питательные вещества (львиная их доля) в конечном итоге оказываются на дне водоема, образуя иловые отложения и ускоряя процесс эвтрофирования, то есть старения экосистемы. Как показали недавние исследования с использованием глубоководных батискафов “МИР-1” и “МИР-2”, такие отложения есть уже и на дне Южного Байкала, несмотря на олиготрофность озера, из-за присутствия на его берегу крупного БЦБК. Дальнейшая деградация его экосистемы идет путем снижения концентрации кислорода в придонных слоях воды, повышения минерализации воды, накопления токсикантов и угнетения фильтраторов [17–20 и мн. др.].

На самом Байкале в течение трех с половиной десятилетий с момента постройки БЦБК и до 2001 г. проводился регулярный контроль гидрохимических и гидробиологических показателей в районе выброса сточных вод завода по стандартным методикам. Накоплен большой и очень ценный материал, который в настоящее время благодаря новым методологическим разработкам позволил установить наличие существенных изменений в экосистеме Южного Байкала [17, 18 и др.].

По данным В.И. Худякова [17, 18], в районе БЦБК признаки метаболического прогресса в сообществе сетного планктона не наблюдаются. Зато четко прослеживается угнетение популяции эпишуры (*Epischura baicalensis* Sars) – главного фильтратора и промежуточного звена между низшими организмами и ихтиофауной озера. Таким образом, происходит характерный для холодноводных олиготрофных водоемов “скачок” через стадию эвтрофирования к стадии деградации. Пропуск стадии метаболического прогресса почти в начале трофической пирамиды, да еще в одном из самых важных звеньев байкальского биоценоза, – крайне опасная тенденция. Она свидетельствует о низкой интенсивности процессов самоочищения относительно конкретного загрязнителя – БЦБК.

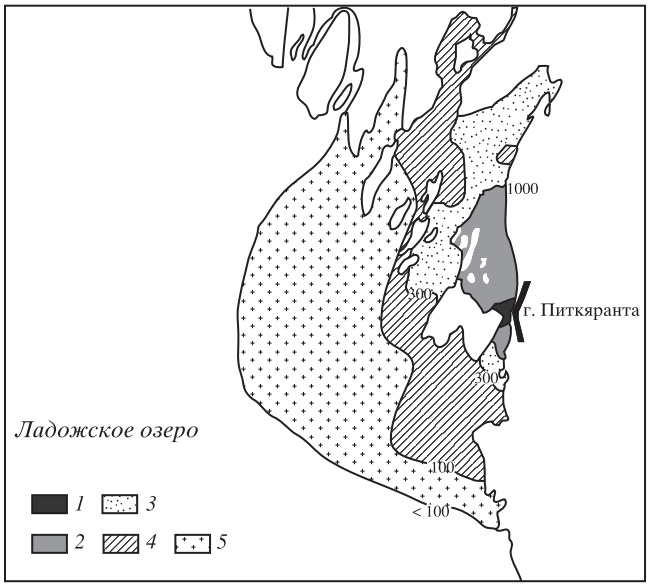

Рис. 4. Зоны загрязнения в районе выброса сточных вод Питкярантского ЦБК (сентябрь 1974 г.). Рисунки даны по [10].

Зоны	Численность инфузорий, экз/л	Электропроводность* воды, мкСим/см
1	0	нет данных
2	1000–3120	84–90
3	300–1000	82–83
4	100–300	79–82
5	<100	77–80

* Данные по электропроводности любезно предоставлены А.М. Крючковым

Изучение пространственной антропогенной сукцессии позволило увидеть признаки временн*о*й антропогенной сукцессии[3] и по ним определять стадию и состояние экосистемы на данный момент, давать прогноз и осуществлять раннюю диагностику. На основе пространственно-временно́й аналогии количественных показателей антропогенных

[3] Под “временно́й антропогенной сукцессией” автор понимает процесс закономерных последовательных изменений всего водоема (всей экосистемы) в ходе своего исторического развития под действием антропогенного загрязнения [16].

сукцессий [21] была разработана система биологического анализа загрязненных вод [22], обеспечивающая не только надежный контроль независимо от типа водоема, но также раннюю диагностику, прогноз и нормирование нагрузки [16, 21, 22 и др.].

Так, на Ладожском озере в исследованный период уровень количественного развития такого представителя низших гетеротрофов, как цилиопланктон, локально достигал показателей, соответствующих эвтрофным водам (до 11 тыс. экз/л). В среднем по озеру или прибрежью уровень развития простейших соответствовал мезотрофным водам (см. табл. 1). Мы также наблюдали в середине 1970-х гг. в глубоководном Якимварском заливе "цветение" синезеленой водоросли *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs и неоднократные локальные вспышки, достигавшие 90% и более от общей численности ценоза, одного из видов инфузорий (*Tintinnidium pusillum* Entz J. или *Strombidium viride f. pelagica* Kahl) вблизи городов Сортавала и Питкяранта. Все это свидетельствовало о серьезных сдвигах в состоянии экосистемы, относившейся до этого к классу больших олиготрофных озер.

Эти тревожные симптомы вызвали необходимость более глубокого исследования состояния всего биоценоза Ладожского озера. Расширенные исследования показали, что Ладожское озеро перешло в класс мезотрофных водоемов и имеет ряд эвтрофных прибрежных районов [23 и др.]. Поскольку ухудшение качества вод касалось основного источника водоснабжения г. Ленинграда, были приняты экстренные меры по снижению антропогенной нагрузки на экосистему, в 1987 г. был закрыт Приозерский ЦБЗ, ужесточен контроль очистки стоков прочих источников загрязнения, что позволило в какой-то мере замедлить дальнейшее развитие исторической антропогенной сукцессии.

Таким образом, крупные стратифицированные водоемы обладают большой инерционностью. Постепенное накопление загрязняющих веществ какое-то время остается незаметным благодаря размерам и особенностям гидродинамики крупных водоемов, поэтому переход в очередную стадию деградации обнаруживается неожиданно и резко. Запустить процесс проявления нового состояния экосистемы могут дополнительные факторы, например, не зависящие от людей климатические аномалии.

При отсутствии системного подхода тревожные признаки накопления органических, биогенных и токсических веществ, так же как изменения в развитии гидробионтов, воспринимаются как несущественные, незначительные или даже случайные колебания. Но сопротивление экосистем антропогенному загрязнению срабатывает лишь до определенного момента, до индивидуального для каждой экосистемы порога прочности. Примеры Ладожского и Великих американских озер подтверждают, что экологические катастрофы в таких крупных водоемах происходят резко и неожиданно даже для многих ученых. Для озера Байкал опасность экологической катастрофы неизмеримо выше, чем для других водоемов. В первую очередь это связано с высоким уровнем эндемизма и повышенной уязвимостью видового состава его биоценоза, незначительной площадью мелководий и заливов, слабой проточностью, низкой минерализацией вод и низкими температурами в течение круглого года и многими другими особенностями уникального озера. Байкальский ЦБК уже более полувека сбрасывает в озеро огромное количество (сотни тысяч кубометров в сутки) загрязняющих и ядовитых отходов, адекватный контроль практически прекращен, прогноз крайне неблагоприятный, так как многочисленных признаков серьезных изменений в экосистеме более чем достаточно [17–20 и др.].

Наиболее популярные подходы в биологическом анализе (в первую очередь основанные на системах сапробности, использовании информационных индексов и т.п.) не в состоянии обеспечить контроль загрязнения больших олиготрофных озер. В отличие от них направление, основанное на анализе динамики количественных и структурных показателей антропогенных сукцессий, не только обеспечивает надежный контроль практически в любых условиях, независимо от типа водоема и климатической зоны, но также открывает широкие возможности в развитии методов ранней диагностики, прогнозе и нормировании нагрузки на водные экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Литвин В.Н., Матишов Г.Г., Погребнов Н.Н., Трощенко В.В., Богуш И.А.* К проблеме питьевого водоснабжения аридных районов Южного федерального округа // Вестник Южного научного центра РАН. 2008. Т. 4. № 1. С. 28–33.
2. *Bartsch A.F.* Biological aspects of stream pollution // Sewage Works Journ. 1948. № 20. P. 292–302.
3. *Hynes H.B.N.* The biology of polluted waters. Liverpool University Press, 1960. 202 p.
4. *Кренева С.В.* Экологическая индикация качества вод в больших олиготрофных озерах, подверженных антропогенному влиянию // Водные ресурсы. 1980. № 1. С. 43–60.
5. *Макрушин А.В.* Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 60 с.
6. *Макрушин А.В.* Библиографический указатель по теме "Биологический анализ качества вод" с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 53 с.
7. *Винберг Г.Г.* Общегидробиологическая основа санитарно-гидробиологических исследований // Биологи-

ческое самоочищение и формирование качества воды: мат-лы II Всесоюз. симпозиума по санитар. гидробиол. Москва, 4–6 февр. 1973 г. М.: Наука, 1975. С. 5–9.
8. *Винберг Г.Г.* Опыт применения разных систем биологической индикации загрязнения вод в СССР // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. Л.: Наука, 1979. С. 285–292.
9. *Кренева С.В.* Биологический анализ загрязненных вод в больших олиготрофных озерах: автореф. дис. … канд. биол. наук. Минск: ЗИН АН БССР, 1982. 20 с.
10. *Матишов Г.Г., Кренева С.В., Муравейко В.М., Шпарковский И.А., Ильин Г.В.* Биотестирование и прогноз изменчивости водных экосистем при антропогенном загрязнении. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 468 с.
11. *Кренева С.В.* Мониторинг микрозоопланктона // Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. С. 131–150.
12. *Кренева С.В.* Интегральные количественные методы биологической индикации загрязненных вод в условиях большого олиготрофного водоема // ДАН СССР. 1976. Т. 229. № 1. С. 253–255.
13. *Одум Ю.* Экология. М.: Мир, 1986. Т. 1–2. 328 с.
14. *Риклефс Р.* Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.
15. *Clements F.E.* Plant Succession and Indicators. New York: Wilson, 1928. 1512 p.
16. *Кренева С.В.* Применение принципа сукцессионного анализа для оценки и прогноза состояния водных экосистем: автореф. дис. … д-ра биол. наук. М.: МГУ, 2002. 51 с.
17. *Худяков В.И.* Пространственное распределение и состояние планктона озера Байкал в районе действия сточных вод целлюлозно-бумажного комбината: автореф. дис. … канд. биол. наук / МГУ. М.: Изд-во “Макс-Пресс”, 2004. 24 с.
18. *Кренева С.В., Худяков В.И.* К вопросу о контроле антропогенных сукцессий больших российских озер // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: мат-лы III Междунар. науч. конф., 17–22 сент. 2007 г., Минск–Нарочь / Белорусский государственный университет. Минск: Изд. центр БГУ, 2007. С. 103–104.
19. *Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А., Галазий Е.И., Тарасова Е.Н.* Диоксиновая ситуация в Байкале и проблема сохранения его уникального биоразнообразия // Проблемы сохранения биоразнообразия. Новосибирск, 1998. С. 54–58.
20. *Tarasova E.N., Mamontov A.A., Mamontova E.A.* Pollution and eutrophication in Lake Baikal // Journal of Lake Science. 1999. Vol. 10. P. 165–178.
21. *Кренева С.В., Матишов Г.Г., Кренева К.В.* Применение принципа пространственно-временных аналогий в анализе антропогенных сукцессий и концепции индивидуального нормирования нагрузки на водные экосистемы // Доклады Академии наук. 2003. Т. 388. № 4. С. 565–567.
22. *Кренева С.В.* Система экологического контроля состояния природных вод // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 3. С. 88–96.

ON THE QUALITY OF ESTIMATES AND FORECAST OF WATER ECOSYSTEMS' DEGRADATION (LARGE LAKES BEING EXEMPLIFIED)

S.V. Kreneva

The question on problems and methodological basis of pollution control of large water bodies has been raised. A basically new holistic direction in the methodology of water anthropogenic pollution control based on the materials of a four-year hydrobiological research of Ladoga and Onega Lakes accompanied by continuous recording of hydrophysical and hydrochemical data during the surveys has been developed. The approach provides great possibilities and prospects for control, forecast, and early diagnostics. It allows detecting the signs not forecast earlier of Ladoga Lake conditions' changes as of a big oligotrophic lake. Advantages and necessity of urgent application of modern methodology to pollution control and assessment of Baikal Lake and other large water bodies are under consideration.

Key words: water ecosystems, pollution, anthropogenic succession, early diagnostics, forecast.

REFERENCES

1. Litvin V.N., Matishov G.G., Pogrebnov N.N., Troshchenko V.V., Bogush I.A. 2008. [The problem of drinking water supply of arid areas of the Southern Federal District]. *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tsentra*. 4(1): 28–33. (In Russian).
2. Bartsch A.F. 1948. Biological aspects of stream pollution. *Sewage Works Journ*. 20: 292–302.
3. Hynes H.B.N. 1960. *The biology of polluted waters.* Liverpool University Press: 202 p.
4. Kreneva S.V. 1980. [Environmental indication of water quality in large oligotrophic lakes are influenced by anthropogenic effects]. *Vodnye resursy*. (*Water Resources*). (1): 43–60. (In Russian).
5. Makrushin A.V. 1974. *Biologicheskiy analiz kachestva vod.* [*Biological analysis of water quality*]. Leningrad, Zoological Institute of the AS USSR: 60 p. (In Russian).
6. Makrushin A.V. 1974. *Bibliograficheskiy ukazatel' po teme "Biologicheskiy analiz kachestva vod" s prilozheniem spiska organizmov-indikatorov zagryazneniya*. [*Bibliographic Index on "Biological analysis of water quality" with a list of organisms, pollution indicators*]. Leningrad, Zoological Institute of the ASUSSR: 53 p. (In Russian).
7. Vinberg G.G. 1975. [Total hydrobiological basis of sanitary-hydrobiological studies]. In: *Biologicheskoe samoochishchenie i formirovanie kachestva vody. Materialy II Vsesoyuznogo simpoziuma po sanitarnoy gidrobiologii* (*Moskva, 4–6 fevralya 1973 g.*). [*The biological self-cleaning and the formation of water quality. Materials of II All-Union symposium on the health of Hydrobiology* (*Moscow, 4–6 February 1973*)]. Moscow, Nauka Publishers: 5–9. (In Russian).
8. Vinberg G.G. 1979. [Experience of using different systems of biological indicator of water pollution in the USSR]. In: *Vliyanie zagryaznyayushchikh veshchestv na gidrobiontov i ekosistemy vodoemov*. [*The impact of pollutants on hydrobionts and water reservoirs ecosystems*]. Leningrad, Nauka Publishers: 285–292. (In Russian).
9. Kreneva S.V. 1982. *Biologicheskiy analiz zagryaznennykh vod v bol'shikh oligotrofnykh ozerakh. Avtoreferat dissertatsii … kandidata biologicheskikh nauk.* [*Biological analysis of polluted water in large oligotrophic lakes. PhD Thesis Abstract*]. Minsk, Zoological Institute of the Academy of Sciences of the Byelorussian SSR: 20 p. (In Russian).
10. Matishov G.G., Kreneva S.V., Muraveyko V.M., Shparkovskiy I.A., Il'in G.V. 2003. *Biotestirovanie i prognoz izmenchivosti vodnykh ekosistem pri antropogennom zagryaznenii*. [*Biotesting and prediction of the aquatic ecosystems variability at the anthropogenic contamination*]. Apatity, KSC RAS Publishers: 468 p. (In Russian).
11. Kreneva S.V. 1992. [Monitoring of microzooplankton.] In: *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnyh jekosistem.* [*Manual for biological monitoring of freshwater ecosystems*]. V.A. Abakumova (Ed.). St. Petersburg, "Gidrometeoizdat": 131–150. (In Russian).
12. Kreneva S.V. 1976. [Integrated quantitative methods of biological indication of polluted water in a large oligotrophic reservoir]. *DAN SSSR*. 229(1): 253–255. (In Russian).
13. Odum Yu. 1986. *Ekologiya*. [*Ecology*]. Vol. 1–2. Moscow, "Mir" Publ.: 328 p. (In Russian).
14. Riklefs R. 1979. *Osnovy obshchey ekologii*. [*Basics of General Ecology*]. Moscow, "Mir" Publ.: 424 p. (In Russian).
15. Clements F.E. 1928. Plant Succession and Indicators. New York, Wilson: 1512 p.
16. Kreneva S.V. 2002. *Primenenie printsipa suktsessionnogo analiza dlya otsenki i prognoza sostoyaniya vodnykh ekosistem. Avtoreferat dissertatsii … doktora biologicheskikh nauk.* [*Applying the principle of Succession analysis to estimate and forecast the state of water ecosystems. Doctor's Thesis Abstract*]. Moscow, Moscow State University: 51 p. (In Russian).

17. Khudyakov V.I. 2004. *Prostranstvennoe raspredelenie i sostoyanie planktona ozera Baykal v rayone deystviya stochnykh vod tsellyulozno-bumazhnogo kombinata. Avtoreferat dissertatsii … kandidata biologicheskikh nauk.* [*Spatial distribution and state of the plankton in Lake Baikal Area Wastewater Pulp and Paper Mill. PhD Thesis Abstract*]. (Moscow State University). Moscow, "Maks-Press" Publishers: 24 p. (In Russian).

18. Kreneva S.V., Khudyakov V.I. 2007. [On the question of control of anthropogenic succession of large Russian Lakes]. *Ozernye ekosistemy: biologicheskie protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, 17–22 sent. 2007 g., Minsk – Naroch'*. [*Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality. Proceedings of the III International Conference, 17–22 September, 2007, Minsk – Naroch*]. (The Belarusian State University). Minsk, Belarusian State University Publishing Center: 103–104. (In Russian).

19. Mamontov A.A., Mamontova E.A., Galaziy E.I., Tarasova E.N. 1998. [Dioxin situation in the Baikal region and the conservation of its unique biodiversity]. In: *Problemy sokhraneniya bioraznoobraziya*. [*Problems of biodiversity conservation*]. Novosibirsk: 54–58. (In Russian).

20. Tarasova E.N., Mamontov A.A., Mamontova E.A. 1999. Pollution and eutrophication in Lake Baikal. *Journal of Lake Science*. 10: 165–178. (In English).

21. Kreneva S.V., Matishov G.G., Kreneva K.V. 2003. [The use of the principle of spatiotemporal analogy in the analysis of anthropogenic successions and the concept of individual regulation of the anthropogenic load on aqatic ecosystems]. *Doklady Biological Sciences.* 388(1–6): 62–64.

22. Kreneva S.V. 1993. [The system of ecological monitoring of natural waters]. *Gidrobiologicheskiy zhurnal*. (*Hydrobiological Journal*). 29(3): 88–96. (In Russian).

23. *Antropogennoe evtrofirovanie Ladozhskogo ozera.* [*Anthropogenic eutrophication of Lake Ladoga*]. 1982. Leningrad, Nauka Publishers: 304 p. (In Russian).