

УДК 574.4:504.05

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВОВ КАЧЕСТВА ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА НЕЕ**

© 2006 Б.К. Павлов, Е.В. Пешкова

НИИ биологии при Иркутском государственном университете, г. Иркутск

Обоснован экологический подход к определению нормативов качества экосистемы озера Байкал и нормативов допустимых воздействий на нее, базирующийся на способности видовых популяций устойчиво функционировать в условиях давления антропогенных факторов. Дано определение устойчиво функционирующей экосистемы как системы, сохраняющей свойственный ей диапазон естественной изменчивости параметров ее биотического сообщества.

Нормирование антропогенных воздействий на природную среду существовало еще в Древнем Вавилоне (1700 лет до н.э.) и Древней Индии (240 лет до н.э.). В Древнем Вавилоне закон регулировал лесопользование, в Древней Индии эдикт регулировал охоту на животных. В России первые акты, регулирующие лесопользование и использование объектов животного мира появились в XVI веке. К концу XIX века сформировалась правовая система в виде указов и законов, регулирующая допустимую антропогенную нагрузку на природную среду.

Международные соглашения, нормирующие допустимые уровни вылова рыбы и добычи китов в международных водах, появились в XX веке.

К середине 50-х годов XX столетия сформировалась и стала общепринятой концепция популяции как элементарной единицы существования и элементарной самовоспроизведенияющейся единицы вида. Были разработаны методы допустимого изъятия особей из популяции без разрушения механизмов ее самовоспроизводства. Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на популяцию рассчитывались на основе знания об особенностях ее структуры, интенсивности размножения и смертности.

Существенное изменение окружающей

среды в результате хозяйственной деятельности человека как причина ухудшения состояния его здоровья было осознано еще в XVII веке. К началу XX века проблема сохранения здоровья человека в связи с воздействием побочных продуктов его деятельности – загрязняющих веществ стала столь острой, что появилась необходимость нормирования поступления загрязняющих веществ в среду его обитания.

За нормативы качества среды обитания человека были приняты концентрации веществ, не нарушающие здоровья человека – предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ. ПДК веществ определялись на опытных организмах в лаборатории путем подбора недействующих на состояние их жизнедеятельности концентраций. Допустимые нормативы выбросов и сбросов веществ определялись расчетным путем на основе интенсивности их рассеивания в атмосферном воздухе или разбавления в воде водных объектов с учетом того, чтобы концентрации веществ в среде обитания человека не превышали их ПДК.

Такой подход к определению нормативов выбросов и сбросов веществ в окружающую среду был назван гигиеническим. Он должен был обеспечить сохранение здоровья человека. Позднее были разработаны ПДК ве-

ществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Они определялись экспериментальным путем в опытах на отдельных организмах.

Критика концепции ПДК веществ, как нормативов качества окружающей среды, началась сразу же после ее юридического утверждения. К началу 70-х годов XX-го столетия было накоплено значительное число данных, свидетельствующих о существенных различиях по степени устойчивости (в 1000 раз и больше) к действию одного и того же вещества у организмов, не только принадлежащих к разным таксономическим группам, но и в пределах одного рода, вида и даже у разных популяций одного вида [16].

Критика концепции ПДК веществ сводилась к тому, что в природной среде вещество, для которого определена ПДК в лабораторных условиях, трансформируется, проявляет эффекты синергизма, антагонизма, суммирования действия разных веществ, вступает в комплексы с органическими молекулами и т.д.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (2000 г., № 7) определил, что нормативы качества природной среды должны обеспечивать устойчивое функционирование естественных экосистем (ст. 1). В естественной экосистеме элементарная функциональная единица – видовая популяция, не отдельные особи. Поэтому соблюдение ПДК веществ в природной среде, определенных на организменном уровне, не может быть нормативом, обеспечивающим устойчивое функционирование естественной экосистемы.

Альтернативой методологии ПДК был предложен биотический подход к нормированию качества природной среды [7, 8]. Биотический подход основывался на положениях концепции экологической толерантности, устанавливающей допустимые уровни воздействий на биотическое сообщество естественной экосистемы [9]. Для реализации биотического подхода был необходим набор способов оценки состояния сообществ, которые позволяли бы отличать устойчиво функционирующую систему от экосистемы, в которой произошли существенные изменения, вызванные давлением антропогенных факторов. Было предложено множество индексов

(сапробности по Пантле-Буку, Сладечеку, Вудивису, индексы видового разнообразия и т.д.). Все эти индексы используются в системе экологического контроля Росгидромета [11]. Основной недостаток, не позволяющий использовать эти индексы для оценки состояния сообществ водных экосистем, заключается в том, что они не учитывают сезонную и многолетнюю динамику видовых популяций, образующих биотическое сообщество естественных экосистем [3].

В 70-80-е годы прошлого века развернулась широкая дискуссия о том, какие изменения экосистем допустимы в результате антропогенных воздействий, а какие не допустимы. Иными словами, каким должно быть качество экосистем, на которые воздействуют антропогенные факторы. Обсуждался вопрос о том, какими признаками должна обладать «хорошая» экосистема. Было предложено множество (около 50) показателей «нормальности» экосистемы, среди которых встречаются такие экзотические, как «дарвинская приспособленность - аналог произведения термодинамической энтропии на температуру», не имеющих экологического смысла.

К концу 80-х годов прошлого столетия сформировалась концепция «экологических модификаций» – перестройки биоценозов в условиях антропогенного воздействия [1]. Усложнение экологической структуры биоценоза назвали экологическим прогрессом, упрощение экологической структуры биоценоза – регрессом, перестройки экологической структуры, не ведущие к усложнению или упрощению – экологической модуляцией. Экологическая модуляция может выражаться в смене доминантных видов и даже в изменении видового состава. Предполагается, что допустимые антропогенные воздействия должны вызывать только экологические модуляции [1].

Критики концепции ПДК веществ упустили из виду главный недостаток. ПДК веществ определялись на организменном уровне в лаборатории. В природных условиях любой биологический вид может существовать только в виде популяций – совокупностей особей,

способных самовоспроизводиться. Способность видовой популяции самовоспроизводиться лежит в основе самовоспроизводства биотических сообществ и естественных экосистем.

Функционирование биотического сообщества естественной экосистемы – это взаимодействие образующих его видовых популяций, выражющееся в потоках вещества, энергии и информации. Каждой видовой популяции свойственен определенный диапазон сезонной и межгодовой изменчивости ее параметров, сложившейся в процессе адаптации к условиям существования в конкретной экосистеме.

Устойчиво функционирующая экосистема – это экосистема, в которой диапазоны изменчивости параметров ее видовых популяций не выходят за эволюционно сложившиеся их пределы.

В каждой устойчиво функционирующей видовой популяции сохраняется такое соотношение между смертностью и рождаемостью (приростом), которое позволяет ей сохранять численность на уровне, достаточном для обеспечения самовоспроизводства.

Процесс смертности в видовой популяции такой же естественный процесс, как и процесс размножения. Риск гибели отдельных особей (клеток) от каких-либо факторов внешней для видовой популяции среды (биотической, абиотической) случайно распределен во времени и пространстве. При любом случайному сочетанию факторов, действующих на видовую популяцию, общепопуляционная смертность компенсируется рождаемостью. Появление «нового» фактора смертности (в том числе, антропогенного) не увеличивает общепопуляционную смертность, происходит «перераспределение» смертности – общепопуляционная смертность от ранее действующих факторов снижается [13, 18, 19].

Разрушение способности видовой популяции к самовоспроизводству происходит в том случае, когда общепопуляционная смертность за один цикл размножения превысит эволюционно сложившийся ее максимум, а действие антропогенных факторов (например, токсичных веществ) распространится на всю

видовую популяцию. Подобное может произойти только в незначительных по размеру экосистемах (например, пруд, небольшое озеро или река).

Определить нормативы качества естественной экосистемы и допустимую антропогенную нагрузку на нее возможно только на основе знаний многолетней изменчивости (сезонной, годовой) интегральных показателей ее состояния, а также численности (биомассы) ее видовых популяций, играющих ведущую роль в потоках вещества, энергии и информации.

Нормативами качества устойчиво функционирующей естественной экосистемы могут быть диапазоны естественной изменчивости ее параметров.

Допустимой антропогенной нагрузкой на экосистему будет такая нагрузка, при которой диапазон изменчивости параметров видовых популяций не выходит за эволюционно сложившиеся пределы.

Закон Российской Федерации «Об охране окружающей среды» (10 января 2002 г., № 7) дал правовое определение нормативам качества окружающей среды и нормативам допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду (ст. 1, 21, 27).

Впервые было дано правовое определение понятия «благоприятная окружающая среда» как окружающей среды, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем.

Нормативы качества окружающей среды определены как нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду определены как нормативы, установленные в соответствии с величиной допустимого совокупного воздействия всех источников на окружающую среду и (или) отдельные компоненты природной среды в пределах конкретных территорий и (или) акваторий и при соблюдении которых обеспечивается устойчивое фун-

кционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие (ст. 1).

При установлении нормативов качества окружающей среды и нормативов допустимой антропогенной нагрузки на нее учитываются природные особенности территории и акваторий и назначение естественных экосистем (ст. 21 и 27).

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» вводит правовое определение понятия «естественная экологическая система» как объективно существующей части природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой живые (растения, животные и другие организмы) и неживые ее элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом вещества и энергией.

Задача определения нормативов качества природной среды и нормативов допустимой антропогенной нагрузки в каждом конкретном случае решается на основе выделения (определения границ) конкретной экосистемы и знания параметров ее устойчивого функционирования.

В экологии в термин «устойчивость» вкладывается разный смысл.

Ю.Одум [10] различает резистентную устойчивость – способность экосистемы сопротивляться нарушениям, поддерживая неизменной свою структуру и функции, и упругую устойчивость – способность экосистемы восстанавливаться после того, как ее структура и функция нарушены.

Ю.М.Свиражев и Д.О.Логофет [15] считают, что дать четкое и однозначное определение термина «устойчивость» оказывается трудной задачей. В самом общем смысле устойчивость определяется способностью биотического сообщества (совокупности видовых популяций) экосистемы противостоять возмущающим факторам. Ю.М.Свиражев и Д.О.Логофет [15] предполагают, что биотическое сообщество или экосистема устойчивы, если траектория ее модели в фазовом пространстве не будет выходить за пределы данной ограниченной области при некотором

воздействии достаточно широкого спектра.

Для целей нормирования качества природной среды можно считать экосистему устойчиво функционирующей, если она сохраняет свойственный ей диапазон естественной изменчивости параметров биотического сообщества.

Основной критерий самостоятельности водных экосистем – это сбалансированность потока биогенных веществ между ее абиотическими и биотическими компонентами. При синтезе первичного органического вещества из абиотических компонентов экологической системы извлекаются биогенные соединения. Консументы 1-го порядка переводят первичное органическое вещество в форму, доступную консументам 2-го и последующих порядков. В течение определенного времени биогенные и другие вещества, включенные при фотосинтезе в первичное органическое вещество, проходят по всем трофическим уровням, в том числе и редуцентам, минерализуются, некоторое количество из них осаждается на дно водоема и выносится за пределы экосистемы с водами, вытекающими из водного объекта.

Основная часть минерализованных биогенных веществ вновь поступает в зону фотосинтеза и используется для создания первичного органического вещества. Поступление извне биогенных веществ в водную экосистему компенсируется их выведением из экосистемы. Такой водный объект представляет собой экосистему. Необходимое условие – полное перемешивание вод во время весенней и осенней циркуляции.

А.Ф.Алимов [2] предложил считать единой экосистемой водные объекты, в которых внутрисистемное вовлечение биогенных веществ в синтез первичного органического вещества в 3 раза и более превышает их поступление извне.

В крупных водных объектах, таких как оз. Байкал, могут существовать две и более экосистемы.

Границы экосистем водной толщи в крупных водных объектах можно определять по границам доминирующих по вкладу в суммар-

ную первичную продукцию видовых популяций планктонных водорослей [6, 12].

Границы популяций планктонных видов определяются границами квазистационарных круговоротов вод. В Байкале выделяют 5 квазистационарных круговоротов вод [17].

Локальные экосистемы дна литорали оз. Байкал можно выделять в границах видовых популяций донных водорослей, доминирующих по первичной продукции.

Это можно показать на примере одной из 3 котловин оз. Байкал. Вдоль западного берега идет подводная терраса, имеющая глубину на внешнем крае от 5 до 15 м и шириной от 50 до 600 м. За террасой начинается подводный склон с уклоном 30-35°, оканчивающийся на глубине около 1300 м. Вдоль восточного берега идет мелководная терраса с глубиной на внешнем крае 20 м и шириной 500-1000 м. За ней начинается подводный склон с уклоном 15-30° и шириной 4-12 км. Нижняя граница склона расположена на глубинах 900-1000 м [14].

На мелководных террасах в верхних частях подводных склонов до глубины 50-70 м распространены прикрепленные донные водоросли, создающие летом биомассу: до 390 г м<sup>-2</sup> - на глубинах 1,5-2,5 м; до 297 г м<sup>-2</sup> - на глубинах 2,5-15 м; на глубинах 15 м и более биомасса колеблется в пределах 1-30 г м<sup>-2</sup>, на глубинах 50 м и более биомасса макроводорослей в редких случаях достигает 1,0 г м<sup>-2</sup> [5]. Донные макроводоросли в зоне глубин до 50 м на мелководных террасах в верхней части подводных склонов служат основным источником первичного органического вещества для населения литорали. Поэтому в Байкале можно выделить экосистемы литорали и экосистемы пелагиали.

В пелагиали (в открытом Байкале за пределами глубины 50 м) источник первичного органического вещества – сообщество планктонных водорослей. Около 80% первичной продукции за год в слое воды 0-50 м создают 6 видов диатомовых: 3 вида рода *Aulacoseira* - *Synedra acus*, *Cyclotella baicalensis* и *C. minuta*. Весной подо льдом в слое воды 0-1 м значительную первичную продукцию создает *Gymnodinium baicalense* (динофитовые), ле-

том в слое воды 0-25 м – *Chroomonas acuta* (криптофитовые) и, в поверхностном слое воды – *Anabaena lemmertmannii* (сине-зеленые).

Доминантный (ключевой) вид консументов первого порядка, создающий до 95% продукции этого трофического уровня, эпишур. Зоопланктон пелагиали Байкала образуют около 40-50 видов, но их годовая продукция незначительна и существенной роли в круговороте вещества и энергии не играет. Исключение составляет макрогектопус – основа питания голомянок. Его среднегодовая продукция достигает 8-12 г м<sup>-2</sup>. Средняя годовая продукция эпишурры колеблется в пределах 120-560 г м<sup>-2</sup> [4].

Следующий трофический уровень биотического сообщества – пелагические рыбы: омуль, бычки: желтокрылка и длиннокрылка и голомянки: большая и малая.

Единственный источник органического вещества для донных животных за пределами глубин 50-70 м – это детрит, основу которого составляют продукты жизнедеятельности обитателей водной толщи, отмершие особи (или части), опускающиеся на дно [20]. Таким образом, можно считать, что население водной толщи и дна за пределами глубин 50-70 м представляют собой единое биотическое сообщество.

Основной источник органического вещества донных животных в литорали оз. Байкал – первичная продукция донных водорослей.

В оз. Байкал в зоне глубин до 30 м (литорали) сосредоточено более 75% эндемичных животных и 95% эндемичных донных водорослей (макрофитов) [20].

В первом приближении можно принять, что в озере Байкал существует как минимум пять пелагических экосистем: население водной толщи и дна в пределах 5 квазистационарных круговоротов вод и 9 донных водных экосистем в литорали озера.

Есть основания считать, что популяции эндемичных донных, в том числе донных водорослей, видов континуальны. Границами видовых популяций в литорали могут быть глубокие впадины дна – продолжения

руслы рек. Некоторые данные о популяционной организации эндемичных видов донных водорослей можно получить, исходя из особенностей распределения ландшафтов мелководных террас оз. Байкал.

Исходя из этого можно считать, что в Южном Байкале можно выделить 3 локальные экосистемы литорали дна озера. 4 локальных экосистемы дна можно выделить в Среднем Байкале и 2 – в Северном Байкале.

На основе изучения механизмов и закономерностей функционирования экосистемы Байкала в течении 50 лет можно сделать следующие выводы.

Для целей нормирования качества природной среды можно считать экосистему устойчиво функционирующей, если она сохраняет свойственный ей диапазон естественной изменчивости параметров биотического сообщества.

За нормативы качества экосистемы можно принять максимальные или минимальные значения диапазона изменчивости параметров видовых популяций «ключевых» видов, играющих доминирующую роль в круговороте вещества и энергии в конкретной экосистеме, и интегральные показатели состояния фитопланктона, а также максимальные или минимальные значения концентраций участвующих в круговороте биогенных веществ, способных изменить конкурентные отношения между видовыми популяциями.

Для оценки состояния экосистем водной толщи необходимо и достаточно использовать интегральные показатели автотрофного звена сообщества – продуцента первичного органического вещества: величину первичной продукции и концентрацию хлорофилла «а», а также биомассу и численность видов, играющих доминирующую роль в круговороте вещества и энергии: 6 видов планктонных видов водорослей и 1 вид зоопланктона – эпишура.

Для оценки состояния локальных донных экосистем литорали Байкала необходимо и достаточно оценивать соотношение биомасс следующих таксономических групп: гваммариid, моллюсков, олигохет, хирономид и ручейников.

Определение допустимой антропогенной

нагрузки на экосистему озера Байкал предлагаются осуществлять по схеме:

- определение состояния 5 локальных экосистем водной толщи;
- определение существующей антропогенной нагрузки на водную толщу каждой из 5 экосистем;
- определение состояния 9 локальных донных сообществ литорали в зоне влияния сброса сточных вод;
- определение существующей антропогенной нагрузки на локальные донные сообщества литорали;
- выявление отклонения состояния биотических сообществ от их устойчивого функционирования;
- определение антропогенных факторов, вызывающих отклонения в устойчивом функционировании локальных экосистем;
- рекомендации по снижению интенсивности давления антропогенного фактора, вызывающего отклонения от устойчивого функционирования локальных экосистем;
- последующее осуществление экологического контроля в зоне влияния сточных вод хозяйствующим субъектом, включающим оценку состояния локальных экосистем по биологическим показателям;
- на следующий год при отсутствии эффекта возвращения локальной экосистемы к состоянию устойчивого функционирования выдаются рекомендации по дальнейшему снижению интенсивности давления антропогенного фактора.

Установление предельно допустимых воздействий на экосистему оз. Байкал – это длительный постоянный процесс, осуществляемый на основе анализа данных государственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля. Такой подход основан на положении Федерального закона «Об охране озера Байкал» (статья 14) о ежегодном пересмотре нормативов допустимых воздействий на уникальную экологическую систему оз. Байкал.

Авторами статьи на основе экологического подхода разработаны в 2006 г. нормативы качества экологической системы оз. Байкал и нормативы допустимых воздействий на нее.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
2. Алимов А.Ф. Основные положения теории функционирования водных экосистем // Гидробиол. журн. 1990. Т. 26, № 6.
3. Измельцева Л.Р., Павлов Б.К., Пешкова Е.В. Изменчивость показателей видового разнообразия фитопланктона Байкала в районе Байкальска // Проблемы сохранения биоразнообразия: Материалы конф. «Проблемы экологии». Чтения памяти проф. М.М. Кожова. Новосибирск: Наука, 1998.
4. Измельцева Л.Р., Пешкова Е.В., Павлов Б.К. Роль эпишуры (*Epischura baicalensis* Sars) в круговороте фосфора в озере Байкал // Экосистемы и природные ресурсы горных стран. Новосибирск: Наука, 2004.
5. Ижболдина Л.А. Мейо- и макрофитобентос озера Байкала (водоросли). Иркутск: Издво Иркут. ун-та, 1990.
6. Кожова О.М., Павлов Б.К. Популяционные аспекты исследования зоопланктона озера Байкал // Прогнозирование экологических процессов. Новосибирск: Наука, 1986.
7. Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Докл. РАН. 1994. Т. 337, № 2.
8. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004.
9. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиол. журн. 1991. Т. 23, № 3.
10. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 2.
11. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера РД 52.24.309-93. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
12. Павлов Б.К. Об элементарных самовоспроизводящихся биохорологических единицах элементарного уровня // Методология оценки состояния экосистем. Новосибирск: Наука, 1998.
13. Павлов Б.К. Управление популяциями охотничьих животных. М.: Агропроимиздат, 1989.
14. Подводные ландшафты Байкала / Под ред. К.М. Петрова. Новосибирск: Наука, 1990.
15. Свириджев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. М: Наука, 1978.
16. Строганов Н.С. Сравнительная чувствительность гидробионтов к токсикантам // Итоги науки и техники. Т. 3. Водная токсикология / Под ред. Н.С. Строганова. М.: ВИНИТИ, 1976.
17. Течения в Байкале. Новосибирск: Наука, 1977.
18. Andrewartha H.G., Birch L.C. The ecological web: More on the distribution and abundance of animals. Chicago: Univ. Chicago Press, 1984.
19. Boer P.S. den. On the survival of populations in a heterogeneous and variable environment // Oecologia. 1981. V. 50, № 1.
20. Lake Baikal: Evolution and Biodiversity / Eds. by О.М. Кожова and Л.Р. Измельцева. Leiden: The Netherlands: Backhuys Publishers, 1998.

## THE ECOLOGICAL BASIS OF THE QUALITY NORMS FOR THE ECOSYSTEM OF LAKE BAIKAL AND ITS PERMISSIBLE ANTHROPOGENIC LOAD

© 2006 B.K. Pavlov, E.V. Peshkova

Scientific Research Institute of Biology at Irkutsk State University, Irkutsk

In this paper we substantiate the ecological approach to the establishing of norms of quality of Baikal ecosystem and norms of permissible impacts on it. This approach is based on the ability of species' populations to function firmly in conditions of anthropogenic pressure. We also define a stable ecosystem as a system which preserves its own diapason of natural variability of the parameters of its biotic community.