

© Т.И. МОЙСЕЕНКО, С.Н. ГАШЕВ, А.Д. ШАЛАБОДОВ

moiseenko@geokhi.ru, gsn-61@mail.ru

УДК 574.52: 574.58

**КАЧЕСТВО ВОД И УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКОСИСТЕМ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ***

АННОТАЦИЯ. В статье определяются ключевые понятия о качестве вод и устойчивости экосистем. Показано, что без глубокого изучения формирования свойств вод и устойчивого функционирования экосистем невозможно предложить как адекватную систему мониторинга водных экосистем, так и предотвратить разрушающее действие на природу антропогенных факторов. Утверждается, что человечество имеет три варианта выбора относительно дальнейшего состояния природных экосистем: 1) продолжение разрушающего воздействия в современных масштабах; 2) полное прекращение воздействия и восстановление до природного состояния; 3) восстановление основных показателей и поддержание устойчивого функционирования экосистем. Очевидно, что первая позиция неприемлема, вторая — требует больших финансовых затрат и может рассматриваться для отдельных, особо охраняемых водных экосистем. Последняя позиция может быть принята для большинства водных объектов в регионах антропогенной деятельности.

SUMMARY. In article key concepts about quality of waters and stability of ecosystems are defined. It is shown that without deep studying of formation of properties of waters and steady functioning of ecosystems, it is impossible to offer as adequate system of monitoring of water ecosystems, and to prevent destroying action on the nature of anthropogenous factors. Affirms that the mankind has three choice rather further a condition of natural ecosystems: 1) continuation of destroying influence in modern scales; 2) the complete termination of influences and restoration to a natural condition; 3) restoration of the main indicators and maintenance of steady functioning of ecosystems. It is obvious that the first position isn't acceptable, the second — demands a lot of finance and can be considered for separate especially protected water ecosystems. The last position can be accepted for the majority of water objects in regions of anthropogenous activity.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Качество воды, экосистемы, устойчивость, мониторинг.

KEY WORDS. Quality of waters, ecosystems, stability, monitoring.

Проблема качественного истощения водных ресурсов вследствие их загрязнения особенно остро обозначилась в последние десятилетия. Вода находится в числе тех компонентов природы, сознательные преобразования или попутные

* Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации, постановление № 220 от 9 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования» (договор № 11.G34.31.0036 от 25.11.2010 г.).

изменения которых на планете наиболее существенны. Антропогенный фактор в формировании химического состава вод находится по значимости в одном ряду с природными геохимическими и биологическими процессами. Разработка полезных ископаемых, включая углеводородное сырье, преобразование водосборов, трансграничные потоки, индустриальные и хозяйственные прямые сбросы и неорганизованные стоки приводят к изменению геохимических циклов элементов в системе водосбор-водоем, эвтрофированию, закислению, появлению токсичных компонентов в водной среде, что в конечном итоге снижает потенциал водных ресурсов для жизнеобеспечения людей и поддержания возобновляющейся биологической продукции.

В мировой науке исследованиям качества вод и устойчивости экосистем уделяется большое внимание. Современными исследованиями доказано, что наряду с локальным загрязнением большой вклад в изменение качества вод и изменения экосистем вносят глобальные преобразования окружающей среды и трансграничные переносы загрязняющих веществ. Потенциально в современный период все водные экосистемы в той или иной степени подвержены антропогенному воздействию вследствие глобальных процессов, происходящих на планете. Климатические вариации могут влиять на них прямо, через изменение температурного режима, и опосредованно — через изменение гидрологического цикла, геохимических процессов на водосборе, поведение токсичных веществ, развитие эвтрофирования, закисления и других антропогенно-индуцированных процессов. Достаточно привести примеры с отдаленными высокогорными и арктическими экосистемами, которые оказались закислены, загрязнены металлами и хлорорганическими соединениями.

Понятие «качество вод». При всей кажущейся простоте вопроса о качестве вод до настоящего времени не выработано понятие — какую же воду можно считать хорошего качества и какие критерии его оценки могут быть приняты как объективные?

Согласно ГОСТу, под качеством вод понимают «совокупность физических, химических и биологических свойств вод с учетом требований конкретных водопотребителей». Критерии качества вод у водопотребителей различны в соответствии с их целями. Для промышленного водопользования, питьевого водоснабжения, естественного или искусственного воспроизводства рыб они существенно отличаются. В самом определении «качество» заложена эпитетная характеристика вод, выражающаяся в экспертных оценках — чистая, загрязненная, сильно загрязненная; удовлетворительная или неудовлетворительная и т.д. Поскольку вода — это жизненно необходимый ресурс для всех живых организмов, включая человека, и среда обитания для водных организмов, ее качество может быть оценено только по отношению к живым системам. Возникает логичный вопрос — насколько эпитетные, зачастую субъективные определения качества вод соотносятся с состоянием живых организмов, потребляющих воду или живущих в ней?

Качество вод характеризуется определенными свойствами (характеристиками). Следует отметить, что выражение «биологические свойства вод» некорректно, поскольку биологические системы являются более высоким уровнем организации по отношению к химическим структурам, включая воду как компонент природы. Свойства природных вод формируются в результате сложных процес-

сов на водосборе и в водоеме: 1) физико-химических — химическое выветривание элементов, их взаимодействия, фильтрация, миграция, адсорбция, десорбция элементов, атмосферное выпадение и эвапорация с поверхности; 2) биологических — биохимических, микробиологических, биофильтрационных. Относительная природная стабильность свойств вод и сезонная их изменчивость в конкретных водоемах поддерживается за счет динамического равновесия и цикличности природных процессов. В процессе жизнедеятельности организмы, используя воду как ресурс и среду обитания, активно влияют на ее свойства, в ряде случаев играя определяющую роль, поэтому вода является биокосным телом.

Водные организмы более зависимы от свойств вод в силу высокого уровня метаболизма в водных экосистемах по сравнению с таковыми в наземных. Для них вода является средой обитания, которая характеризуется определенными условиями. Условие, по определению Ю. Одума [1], — изменяющийся во времени и пространстве абиотический фактор среды, на который организм реагирует в зависимости от его силы. Необходимые условия для существования и размножения организмов, населяющих различные водоемы, могут существенно отличаться. Например, если в фоновые южные озера с характерными для них свойствами вод переместить (даже создав идентичные температурные условия) типичные северные виды, адаптированные к низкоминерализованным водам, то очевидно, что качество этих вод не будет для них приемлемым, и наоборот. Есть водоемы с уникальными свойствами вод (например, геотермальные или солоноватые), где сложились своеобразные биоценозы. «Оптимальными» считаются те условия, при которых особи способны оставить наибольшее количество потомства». Это определение согласуется с понятием, предложенным Строгановым в начале 70-х гг.: «Хорошим можно считать такое качество вод, при котором эффективность размножения водных организмов наиболее высокая». Однако следует обратить внимание, что патологические нарушения в живых организмах появляются раньше, чем снижается их способность к воспроизводству.

Если абстрагироваться от субъективных требований к качеству вод отдельных водопотребителей, то более универсальным определением будет характеристика качества вод с позиций экологической парадигмы: *«Качество вод — это свойства вод, сформированные в процессе химических, физических и биологических процессов, как на водоеме, так и водосборе; благоприятное качество вод в конкретном водоеме в том случае, если отвечает требованиям сохранения здоровья наиболее чувствительных организмов и воспроизводства видов, адаптированных в процессе эволюционного развития к существованию в условиях этого водоема».*

Исходя из предложенного понятия качества вод, очевидно, что в основе методов его оценки (в экспериментальных или натуральных условиях) лежит изучение влияния свойств вод на водные экосистемы и их структурные элементы — отдельные организмы, популяции или сообщества. Поскольку человек не может быть сознательно подвергнут исследованиям по оценке качества вод, то принимается, что если свойства вод отвечают требованиям существования и воспроизводства наиболее чувствительных водных организмов, то качество вод (за исключением частных случаев) можно считать соответствующим требованиям и для сохранения здоровья человека.

Понятие устойчивости экосистем. Когда деструктивный фактор, каким является загрязнение экосистемы, внедряется в систему, он нарушает прежде всего ее стабильность. В конкретных условиях среды при наличии сезонной variability, которая определяется особенностями географического положения, формируются определенные экосистемы. Сходные значения структурных и функциональных характеристик (с учетом сезонной динамики) в течение достаточно продолжительного времени характеризуют пределы стабильности экосистем. Стабильность может характеризоваться как структурная (поддержание основной структуры при изменении функции), так и функциональная (сохранение основных функций в измененной структуре). А.А. Алимов [2], [3] измеряемыми параметрами стабильности сообщества или экосистемы предлагает принимать пределы варьирования их характеристик, не выходящих за рамки среднего уровня флуктуаций, исторически сложившегося и свойственного данной системе. Стабильность есть функция устойчивости экосистемы к действию дестабилизирующего фактора — будь то токсичное загрязнение, эвтрофирование или другие изменения условий обитания.

Анализ публикаций показывает многообразие подходов и определений к оценке устойчивости экосистем, т.е. ее способности противостоять возмущающим факторам, в том числе и потоку загрязнений. Устойчивость системы может быть оценена как ее способность противостоять пертурбациям (резистентная), так и способность возвращаться к исходному состоянию (упругая или эластичная) после действия стрессового фактора. Эластичную устойчивость часто называют упругостью экосистемы. Резерв устойчивости может рассматриваться как функциональный, так и структурный, в первом случае функция не меняется с изменением структуры, во втором — система сохраняет основные виды и исчезновение отдельных видов не приводит к изменению основных функций [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Ю.А. Израэль [9] сформулировал понятие ассимиляционной емкости экосистемы, характеризующейся ее способностью утилизировать поток загрязнений без изменения структурно-функциональной организации, т.е. способность системы «перерабатывать» поступающие извне загрязняющие вещества. Ассимиляционная емкость определяется прежде всего процессами самоочищения, которые в свою очередь зависят как от гидрологических и биогеохимических процессов, так и от видового изобилия и функционального многообразия системы.

А.Ф. Алимов [3] предлагает в качестве оценки устойчивости экосистем ввести понятие «выносливости», под которым понимается способность биологических систем противостоять изменениям внешних условий. Это определение имеет аналогичную смысловую нагрузку как с понятием ассимиляционной емкости [9], так и с принятым определением «устойчивости» [2], [3], [4], [10], [11].

Мы связываем устойчивость также и со структурой экосистем, с биологическим разнообразием сообществ, в свою очередь определяющим и специфику термодинамических процессов, протекающих в этих экосистемах в «норме» и при воздействии каких-то дополнительных возмущающих факторов [12], [13].

Подводя итог анализу наиболее часто цитируемых представлений об устойчивости, мы принимаем, что под *«устойчивостью экосистемы понимается ее способность поддерживать структуру и сохранять функции под действием деструктивного фактора в пределах, характерных для ее при-*

родной вариабельности, т.е. противостоять пертурбациям или возвращаться в исходное состояние после действия стрессового фактора, к каковым относится токсичное загрязнение».

При действии определенных факторов среды конкретная экосистема может находиться в стабильном состоянии, пока воздействие конкретных факторов находится в пределах, к которым она исторически преадаптирована. При усилении воздействия или изменении свойств внешних факторов, например, при поступлении загрязнения или наличия других антропогенных нагрузок, не свойственных системе, или в несвойственно больших количествах, ее структура и функции изменяются и она трансформируется в другое состояние с новыми значениями структурных и функциональных характеристик. При этом она может приобрести другие свойства и будет уже в новом качестве (как фактически новая система) оставаться стабильной до тех пор, пока будут действовать данные факторы.

Три ключевых фактора определяют устойчивость водных экосистем в условиях действия дестабилизирующего токсичного агента: а) адаптивность к высокой вариабельности факторов окружающей среды (эластичность); 2) структурное и функциональное изобилие в экосистемах (выносливость); 3) самоочищающая способность, которая в первую очередь определяется гидрологическими (разведение, перемешивание) и биогеохимическими факторами (аккумуляция, сорбция, инактивация, седиментация и др.).

Потоки энергии играют определяющую роль в стабильности системы, поддерживаемой как резистентной, так и эластичной устойчивостью. Эта точка зрения порождена идеей, что все системы стремятся к минимизации энтропии и максимальному упорядочению энергии [3], [4]. Если приход энергии равен расходу с учетом рассеяния, то состояние рассматриваемой экосистемы остается стабильным во времени. Если приход превышает расход, система приспосабливается за счет возрастания численности организмов, обеспечивающих экосистеме более полное использование энергии. Это может выглядеть как усложнение. Наконец, если возникает дефицит поступающей энергии (расход превышает приход), то система упрощается [1], [3], [14]. В ходе эволюции биосферы была выработана оптимальная организация, связанная с особенностями использования ассимилированной энергии на различных уровнях жизни [15].

Ю. Одум [1] сформулировал концепцию «энергетических субсидий», под которой понимает всякий источник энергии, увеличивающий ту долю энергии, которая может пойти на изготовление продукции. К ним он относит умеренный поток органических и биогенных веществ в экосистему, однако высокий и нерегулярный их приток рассматривает как фактор стресса. Токсичное загрязнение — только как фактор стресса, приводящий к усиленной диссипации энергии и деградации экосистемы.

В стабильной экосистеме, характеризующейся большой сложностью и широкой амплитудой естественной вариабельности, всем видам необходима энергия. Однако виды различаются по потреблению энергии на рост, продукцию и поддержание основного метаболизма, а также по тому, сколько ее может быть запасено в тканях, жировых отложениях или органах репродукции. Нарушение передачи энергии по трофической структуре приводит к ее неупорядоченному рассеиванию. С позиций энергетического подхода при действии деструктивного

(возмущающего) фактора, например, поступление токсичных веществ, увеличивается энтропия биологических систем, поэтому механизмы поддержания стабильности, как известно, будут направлены на сохранение и упорядочение энергии в экосистеме.

Антропогенные преобразования в природе развиваются сложными путями в постоянном взаимодействии процессов различной направленности — изменчивости и поддержания стабильности. Если энергетические траты будут уравновешены субсидиями, то система будет сохранять стабильность в определенном состоянии, при изменении энергетических потоков в одном из этих направлений система будет претерпевать изменения, т.е. находиться в критическом состоянии, пока не достигнет качественно нового равновесного состояния [10].

Ключевые теоретические и прикладные задачи. Исходя из предложенного понятия «качества вод», очевидно, что методы его оценки (в экспериментальных или натуральных условиях) должны опираться на фундаментальные разработки в области наук о Земле и о Жизни. Без достаточно глубокого изучения формирования свойств вод в современных условиях антропогенных нагрузок и ответных реакций живых систем (в целом — экосистем) на антропогенное загрязнение невозможно обосновать систему критериев оценки качества вод и нормирования, соответственно — сохранить воды России чистыми.

Система мониторинга качества вод в России, как и в большинстве других стран мира, позволяет только дать оценку превышения отдельных компонентов (чаще токсикантов) по отношению к их лимитирующим показателям — предельно-допустимым концентрациям (ПДК) для водных объектов, в основном подвергающихся воздействию стоков. В России от Арктики до аридных зон используются одни и те же значения ПДК для токсичных веществ. ПДК практически не учитывают специфику формирования качества вод, их зональные и ландшафтно-географические особенности, а также поведение антропогенно-привнесенных элементов в различных условиях, сопутствующие факторы и комбинированные эффекты. Современный период характеризуется комплексными воздействиями, различные факторы которых могут оказывать как синергетические, так и антагонистические эффекты. Закономерно, что в последнее время мировое научное сообщество в данной области знаний концентрирует внимание на изучении последствий комбинированных воздействий в различных экологических условиях в период потепления климата.

Справедливо критикуя систему ПДК, специалисты гидрохимического профиля предлагают оценивать качество вод и нормировать загрязнения по средним фоновым значениям показателей химического состава вод (в том числе и компоненты загрязнения) плюс одно или два квадратичных отклонения. Уместен вопрос — что будут означать эти отклонения для живых систем? В свою очередь, специалисты биологического профиля предлагают учитывать показатели нарушения состояния индивидуумов, популяций и сообществ. При этом неясно, в каких условиях (т.е. при каких показателях химического состава вод) произошли регистрируемые изменения в биологических системах.

Методология экологического нормирования исходит из раскрытия причинно-следственных связей, которые можно понять на основе построения и анализа доза-эффектных зависимостей. Мультивариантная система критериев оценки качества вод должна основываться на понимании закономерностей антропоген-

ной изменчивости водных экосистем и комплексной оценки их «здоровья»; методы выявления основных негативно воздействующих факторов — опираться на детальную гидро-, биогеохимическую информацию и знание особенностей поведения и свойств токсичных элементов в природных условиях. В приложении к нормированию потока токсичных веществ в экосистему выделяются три основных блока задач, которые показывают необходимость выполнения достаточно сложных в теоретическом плане исследований в науках о Земле и о Жизни.

1. *Определение интегрального показателя дозы воздействия* основывается на познании закономерностей миграции, форм нахождения, трансформации и седиментации техногенно-привнесенных элементов в системе: источник → водосбор → водоем; взаимодействие с природными факторами на водосборе и в водоеме. Как правило, промышленные стоки или выпадения из атмосферы имеют многокомпонентный состав и часто сопровождаются побочными явлениями. Поэтому, наряду с обоснованием химических критериев регистрации отдельных негативных явлений в водной среде, необходимо найти методический прием «сжатия» многосторонней информации к единому численному значению оценки качества водной среды, адекватно отражающему дозу воздействия на биологические системы с учетом суммарного, синергетического или антагонистического взаимодействия всех компонентов абиотической среды.

2. *Обоснование критериев оценки последствий антропогенных воздействий* является узловым вопросом и основывается на познании закономерностей антропогенной изменчивости биологических систем, устойчивости и механизмов адаптации; определении «нормы и патологии», порога необратимых изменений в организмах или качественно новых состояний сообществ. Наиболее информативную базу для понимания последствий загрязнения и обоснования критериев их оценки дает исследование целостной картины изменений на всех уровнях организации (от молекулярно-клеточного — к организмам, популяциям и сообществам). Понятие «ecosystem health» в последние годы достаточно активно используется в научной литературе при интегральных оценках последствий загрязнения окружающей среды [16]. Принимается, что симптомы физиологических изменений и патологических состояний организмов, функциональных и структурных нарушений состояния популяций и сообществ отражают неблагоприятное «здоровье» экосистемы, следовательно — неблагоприятное качество вод.

Критерии оценки состояния организма (по биохимическим, физиологическим, клиническим, патолого-морфологическим симптомам заболеваемости) имеют значение для оценки эффектов загрязнения вод на современный отрезок времени, на уровне популяций (изменение скорости роста, сроков созревания, продолжительности жизни, плодовитости и др.) и сообществ (изменения продуктивности, биоразнообразия, трофической структуры и др.) — могут рассматриваться для интегральной оценки последствий пролонгированного влияния слабых доз загрязнения, неудовлетворительного качества вод. Ответные реакции живых систем не всегда являются прямыми и могут проявляться с участием обратных связей. Большое влияние могут оказывать вторичные эффекты загрязнения вод, а также последствия изменения всей трофической структуры экосистемы.

Выделить норму и патологию на более низких уровнях организации живого легче. На более высоких уровнях иерархической организации экосистем (популяции, сообщества) сложнее определить пограничные состояния. По отношению к экосистемам понятие «нормы и патологии» приобретает смысловую нагрузку и содержание лишь в том случае, когда определены исходные условия и позиции, с которых рассматриваются процессы, протекающие в системе.

3. *Определение критических уровней и нагрузок* является интеграционным этапом исследований и основывается на выявлении связей в системе: объемы выбросов и стоков (нагрузки) \Leftrightarrow превращения на водосборе и интегрированный сток \Leftrightarrow процессы в водной среде и интегральный показатель дозы воздействия \Leftrightarrow биологические эффекты и критерии их регистрации \Leftrightarrow критические уровни воздействия \Leftrightarrow нагрузки. Если определены критические уровни комплексного загрязнения для биологических систем и есть модели связи выбросов (поступлений на водосбор) и формируемых ими концентраций, то далее определяются критические нагрузки и их превышения для конкретных водных объектов.

При выработке понятия *допустимой* антропогенной нагрузки на конкретные природные объекты целесообразно задаться условиями «сохранения среды». Бесспорно, требования к различным водным объектам, например, заповедным, питьевого назначения или урбанизированным, могут существенно различаться. Здесь необходимы корректные политические решения управления качеством водных ресурсов.

Опыт исследований качества вод и устойчивости экосистем в Западной Сибири. Несмотря на высокую обеспеченность водными ресурсами большинства регионов Западной Сибири, может возникнуть проблема их качественного истощения вследствие антропогенных нагрузок локального и глобального масштабов. К сожалению, до настоящего времени экономика России сохраняет минерально-сырьевую направленность, среди которой добыча и экспорт углеводородного сырья занимает ведущие позиции. В этом регионе сосредоточено более 6% мировой добычи нефти. Интенсивное развитие нефтегазового комплекса в Западной Сибири, которое активно началось в 1970-е гг., привело к загрязнению водных экосистем в этом регионе. Преобладающими загрязняющими веществами поверхностных вод здесь являются нефтепродукты, фенолы, аммиак, соединения меди, цинка, марганца, железа. Особую угрозу для водоемов Обь-Иртышского бассейна представляют нефтепродукты, на долю которых приходится около 80% общего загрязнения. Даже в тех случаях, когда нет прямого загрязнения рек и озер, ухудшение происходит за счет воздушного загрязнения, распространяющегося на дальние расстояния. В то же время Обь-Иртышский бассейн известен в мире благодаря запасам уникальных ценных пород рыб, таких, как пелядь, пыжьян, чир и муксун.

В последние годы мировое научное сообщество с большим вниманием и тревогой относится к потенциальной опасности переноса загрязняющих веществ на дальние расстояния со стороны развивающихся азиатских стран — Китая, Монголии, Казахстана и других. По прогнозным данным, выбросы углекислого и кислотообразующих газов, металлов и других опасных веществ будут возрастать. Западная Сибирь расположена на пути преимущественного трансграничного переноса загрязняющих веществ из этих стран.

В южных регионах и местах нефтедобычи ситуация с качеством вод близка к критической. Возникает необходимость в более глубоких, системных и методически обоснованных исследованиях, направленных на выявление негативных процессов и комплексную оценку состояния качества водных ресурсов в регионах Западной Сибири, особенно в местах разработки углеводородного сырья. Многие загрязнители непосредственно или в результате трансформации способны оказывать токсичные, канцерогенные и мутагенные эффекты.

Западная Сибирь интересна для исследований как уникальный географический объект, охватывающий большое разнообразие природно-климатических зон (от тундровых до степных) и ландшафтов (арктических, заболоченных, таежно-лесных), соответственно — экосистем. Это дает основу для постановки глубоких теоретических исследований и познания законов, управляющих антропогенной изменчивостью формирования физико-химических свойств вод в современных условиях, для изучения устойчивости экосистем по отношению к антропогенным воздействиям, разработки методов биологической оценки качества вод и создания научных основ ограничения воздействий до пределов, обеспечивающих устойчивое функционирование водных экосистем.

Принципиальной новизной опыта исследований в Западной Сибири являлась интеграция результатов, выполненных в двух тесно связанных направлениях: 1) территориальном масштабном исследовании, позволяющем выявить антропогенную изменчивость качества вод в контексте зональной и ландшафтно-географической дифференциации; 2) углубленном системном исследовании на модельных водосборах экосистем и их элементов как в природных ненарушенных условиях, так и по приоритетным факторам воздействия и видам-индикаторам, позволяющим выявить причинно-следственные связи, характер и уровень антропогенной нагрузки на водные экосистемы. На рис. 1 отражена блок-схема методического подхода.

Опыт исследования экосистем Западной Сибири в пределах модельных водосборов, как на фоновой территории, так и под действием комплекса антропогенных факторов, связанных с интенсивной добычей нефти и газа, который наработан нами за последние 25 лет, затрагивает в основном наземные сообщества растительности, позвоночных и беспозвоночных животных [12], [17], [18], [19], [20], [21], [22]. Он позволил выявить важные закономерности функционирования экосистем в стрессовых и дистрессовых условиях, определить основные пути адаптации экосистем к меняющимся условиям среды, оценить механизмы реализации устойчивости сообществ живых организмов, обеспечивающие либо их стабильность, либо переход на новый стационарный уровень.

В настоящее время нами реализуется крупномасштабный проект по изучению антропогенной изменчивости качества вод в контексте зональной и ландшафтно-географической дифференциации под действием антропогенного воздействия в соответствии с предложенной ниже схемой.



Рис. 1. Блок-схема интеграции дисциплин и задач в рамках проекта

Таким образом, экологическая теория определяет ключевые понятия о качестве вод и устойчивости экосистем. Без глубокого изучения формирования свойств вод и устойчивого функционирования экосистем невозможно предложить как адекватную систему мониторинга, так и предотвратить разрушающее действие на природу. Человечество имеет три варианта выбора относительно дальнейшего состояния природных экосистем: 1) продолжение разрушающего воздействия в современных масштабах; 2) полное прекращение воздействий и восстановление до природного состояния; 3) восстановление основных показателей и поддержание устойчивого функционирования экосистем. Очевидно, что первая позиция неприемлема, вторая требует значительных финансовых затрат и может рассматриваться для отдельных, особо охраняемых водных экосистем, например, озера Байкал. Последняя позиция может быть принята для большинства водных объектов в регионах с антропогенной деятельностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одум Ю. Экология / Под ред. А.М. Гилярова. Т. I. М.: Мир, 1986. 328 с.
2. Алимов А.Ф. Разнообразие, сложность, стабильность, выносливость экологических систем // Журнал общей биологии. 1994. Т. 55. № 3. С. 285-302.
3. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 148 с.
4. Chesser, R.K., Sugg, D.W. Toxicant as selective Agents in Population and Community Dynamics // Ecotoxicology: a Hierarchical Treatment /eds. Newman, M.C., Jagoe, Ch.H. N.Y.: Levis publishers Ltd., 1996. P. 293-317.
5. Odum, E.P. Trends Expected in Stressed Ecosystems // Bioscience. 1985. Vol. 35. P. 419-422.
6. Гашев С.Н. Устойчивость экологических систем / Региональные проблемы прикладной экологии. Белгород: БГУ, 1998. С. 132-134.
7. Гашев С.Н. Влияние антропогенных факторов на устойчивость сообществ наземных позвоночных животных среднетаежной зоны Западной Сибири / Проблемы взаимодействия человека и природной среды. Тюмень: ИПОС СО РАН, 2000. С. 98-101.
8. Гашев С.Н. Упругая устойчивость экологических систем // Сибирский экологический журнал. 2001. № 5. С. 645-650.
9. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 559 с.
10. Экосистемы в критическом состоянии. Под ред. Пузаченко Ю.Г. М.: Наука, 1989. 158 с.
11. Cairns, J.Jr. The predict, validation, monitoring and migration of anthropogenic effect upon natural systems // Environ. aud. 1990. Vol. 2. P. 19-25
12. Гашев С.Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области): Монография. Тюмень: Издательство ТюмГУ, 2000. 220 с.
13. Гашев С.Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области): Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Тюмень: ТюмГУ, 2003. 48 с.
14. Левченко Л. А., Старобогатов Я.И. Сукцессионные изменения и эволюция экосистем (некоторые вопросы эволюционной экологии) // Журнал общей биологии. 1990. Т. 51. № 5. С. 301-309.
15. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 278 с.
16. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: Наука. 2009. 400 с.
17. Гашев С.Н. Влияние нефтяных разливов на фауну и экологию мелких млекопитающих Среднего Приобья // Экология. 1992. № 2. С. 40.
18. Соромотин А. В. Влияние нефтяного загрязнения на мезофауну таежных лесов Среднего Приобья: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Свердловск: ИЭРиЖ УрО АН СССР, 1991. 24 с.
19. Соромотин А.В. Влияние нефтяного загрязнения на почвенных беспозвоночных (мезофауну) в таежных лесах Среднего Приобья // Сибирский экологический журнал. 1995. № 6. С. 549-552.
20. Соромотин А.В. Мезофауна нефтезагрязненных почв Среднего Приобья. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. 95 с.
21. Гашева М.Н., Гашев С.Н., Соромотин А.В. Состояние растительности как критерий нарушения лесных биоценозов при нефтяном загрязнении // Экология. 1990. № 2. С. 77.
22. Гашев С.Н., Казанцева М.Н., Соромотин А.В., Рыбин А.В. Влияние факелов на биогеоценозы Среднего Приобья // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1994. Т. 99. № 1. С. 3.