DOI: 10.17117/na.2015.05.158

Поступило в редакцию: 29.05.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.05.158.pdf>

Киреева И.Ю.
Особенности мониторинга
биоразнообразия водных экосистем

Kirieieva I.Yu.
The monitoring features of aquatic biodiversity

В статье представлены теоретические подходы к организации биомониторинга водных экосистем для решения задач сохранения биоразнообразия и рационального использования биоресурсов гидросферы

Ключевые слова: мониторинг, биоразнообразие, экосистема, качество среды, индикаторы

The article presents the theoretical approaches to the organization of biomonitoring of aquatic ecosystems to meet the challenges of biodiversity conservation and sustainable usage of biological resources of the hydrosphere.

Key words: monitoring, biodiversity, ekosistema, environment indicators

Киреева Ирина Юрьевна

Кандидат биологических наук, доцент
Национальный университет биоресурсов и
природопользования Украины
Украина, Киев, ул. Генерала Родимцева, 19

Kireeva Irina Yurievna

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
National university of life and environmental
sciences of Ukraine
Ukraine, Kiev, General Rodimtsev st., 19

Сокращение биоразнообразия занимает особое место среди основных экологических проблем современности. Биоразнообразие (БР) – “все многообразие форм жизни на земле, миллионов видов растений, животных, микроорганизмов с их наборами генов и сложных экосистем, образующих живую природу”. Биоразнообразие характеризует процесс реальной эволюции, который идет на разных уровнях организации живой материи. На его основе создается структурная и функциональная организация биосферы и составляющих ее экосистем, которая определяет их стабильность и устойчивость к внешним воздействиям. [1, с.106; 5, с. 256-258; 12, 512с.].

БР рассматривают на 4-х уровнях: 1 – генетическом, 2 – популяционном, 3 – видовом, 4 – экосистемном. БР на видовом уровне охватывает весь набор видов на Земле (от бактерий и простейших до царства многоклеточных растений, животных и грибов), в более мелком масштабе – генетическое разнообразие видов географически отдаленных популяций и особей внутри одной популяции, а также разнообразие биологических сообществ, видов, экосистем, сформированных сообществами, и взаимодействия между этими уровнями. Для постоянного выживания видов и природных сообществ необходимы все уровни БР, они одинаково важны для человека. Понятие биоразнообразия все чаще

является основой оценки состояния и экологического благополучия экосистем. Однако, ни одно живое существо, в том числе и человек, не может существовать просто как индивидуум. Для выживания необходимы популяций, имеющие генетические и динамические особенности, поскольку адаптация к резкому изменению любого фактора среды, идет, как правило, на популяционном уровне. Там, где не может приспособиться особь, обязательно адаптируется популяция, обеспечивая непрерывность жизни на Земле. Но и популяция устойчива и легче приспосабливается только при условии максимального разнообразия составляющих ее особей. Потомство от сохранившихся особей будет более жизнестойкое и выносливое. Поэтому возможности у живых существ в сохранении биосферы очень велики. Под действием факторов среды в том числе и антропогенного, число видов уменьшается, а различные виды живых организмов заносятся в Красные книги, что позволяет им на уровне видов сохраниться, или, наоборот, полностью исчезнуть. Для сохранения природных экосистем организуются охранные территории (биосферные заповедники, национальные парки, резерваты и т.д.). Сохранения разнообразия видов животных и растений решается в рамках популяционно-видового подхода, поскольку утрата видового разнообразия как жизненного ресурса может привести к серьезным глобальным последствиям для человека и даже его существования на Земле [3, 224с.; 4, 432с.].

Выделяют четыре основные антропогенные причины исчезновения видов: 1) утрата среды обитания, фрагментация и модификация; 2) чрезмерная эксплуатация ресурсов; 3) загрязнение окружающей среды; 4) вытеснение естественных видов интродуцированными и экзотическими. Генетическое разнообразие необходимо любому виду для сохранения репродуктивной жизнеспособности, устойчивости к заболеваниям, способности к адаптации в изменяющихся условиях и потому при уменьшении численности вида сокращается внутривидовая изменчивость, способная привести к серьезным генетическим изменениям, от которых вид уже не сможет оправиться. Потенциально вид может восстановить свою генетическую изменчивость благодаря мутациям, естественному отбору и рекомбинациям, но у вымирающего вида навсегда утрачиваются уникальность его генетической информации, содержащаяся в ДНК, и комбинации признаков. Если вид вымер, то его популяции уже не восстановимы, а сообщества, в которые они входили, безвозвратно обеднены и потенциальная ценность вида для человека окончательно утрачена. Становится неважным факт явного и фрагментарного разрушения местообитания, поскольку сообщества, его населяющие, могут быть глубоко затронуты деятельностью человека [6, 256с.].

Вместе с тем любая биологическая система (БС) на любом уровне организации живой материи является динамической, в ней постоянно протекает множество разновременных процессов. БС – открытые системы, условие существования которых обеспечивается обменом энергией, веществом и информацией между частями системы (или подсистемами), и с окружающей средой. Специфичность этого обмена заключается в контроле специальных механизмов реализации генетической информации и внутреннего управления, кото-

рые позволяют избежать «термодинамической смерти» путем использования энергии, извлекаемой из внешней среды. Устойчивость стабильных состояний БС (сохранение постоянства внутренних характеристик на фоне нестабильной или изменяющейся внешней среды), а также способность их к переходу из одного состояния в другое (свойство неустойчивости стационарных состояний биологических систем) обеспечиваются различными механизмами саморегуляции, базирующихся на принципе обратной связи (отрицательной или положительной). БС способны выдерживать изменения среды и сохранять относительное постоянство состава, и свойства, т. е. обладают гомеостазом. Гомеостаз поддерживается на каждом уровне организации живого. На клеточном уровне эту функцию выполняют биомембраны (клеточные и внутриклеточные: плазматические, мембраны митохондрий, хлоропластов, лизосом, эндоплазматического ретикулума и др.). На тканевом уровне гомеостаз поддерживают тканевые жидкости, в том числе кровь и лимфа, а у растительных организмов – плазмодесмы, цитоплазматические нити, соединяющие соседние растительные клетки, которые регулируют межклеточные потоки углеводов и других субстратов. Гомеостаз генетический, или популяционный – способность популяции поддерживать относительную стабильность и целостность генотипической структуры в изменяющихся условиях среды, обеспечивается сохранением генетического равновесия частоты аллелей (возможных структурных состояний генов). Гомеостаз развития – способность данного генотипа создавать определенный фенотип в широком диапазоне условий. Понятие «гомеостаз» широко используется в экологии при характеристике состояния экосистем и их устойчивости, что характеризует поддержание постоянства видового состава и относительного обилия видов в экосистеме. Познавание закономерностей гомеостаза имеет большое значение для выбора эффективных и рациональных методов диагностики и контроля состояния экосистем. Нарушения механизмов сохранения постоянства гомеостатических процессов, рассматриваются как «болезни гомеостаза» [1, 106с.; 5, с.256-258; 6, 256с.; 8, 47с.; 12, 512с.].

Основной метод оценки состояния биологических систем – мониторинг – многократные измерения для слежения за изменением какого-либо параметра в некотором интервале времени; система долгосрочных наблюдений, оценки, контроля и прогноза состояния и изменения объектов. Экологический мониторинг – это система постоянных наблюдений за состоянием среды обитания и населяющих ее организмов и определенная методология таких наблюдений, базирующаяся на естественнонаучной основе (биологические, физико-химические и другие методы контроля качества среды обитания и состояния популяций и экосистем, математическое моделирование, геоинформационные технологии и т. д.), и на основе фундаментальных социально-экономических знаний [4, 432с.].

Важная составная часть экомониторинга – мониторинг биологического разнообразия (МБР) – система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающая информацию о состоянии биоразнообразия во всех его проявлениях с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза буду-

щих параметров биоразнообразия, поддерживающих естественный гомеостаз экосистем, а также имеющих значение для жизнедеятельности человека. Основные функции МБР – контроль за состоянием биоразнообразия на различных уровнях организации биологических систем: на субклеточном (генетические, биохимические и биофизические аспекты); клеточном и тканевом (иммунологические, эмбриологические, гистологические и органые аспекты); организменном (физиологические аспекты); видовом, популяционном и экосистемном (многообразие организмов, популяций, сообществ, ландшафтов) уровнях. К методическим подходам проведения мониторинга биоразнообразия относятся: 1) панбиотическая таксономическая инвентаризация (АВТИ), базирующаяся на нескольких ключевых группах видов, которые, считаются хорошими индикаторами состояния тех или иных экосистем (например, рыбы или бабочки); 2). пантаксономическая инвентаризация биоразнообразия (АТБИ), направленная на описание всех видов, обитающих на определенной территории; 3) быстрая оценка состояния биоразнообразия (RBA), опирающаяся на списки избранных видов, дающих оперативный показатель биологического богатства территории. Мониторинговые программы могут также фокусироваться на состоянии генетического разнообразия видов, на ключевых видах, ключевых местообитаниях или на их сочетаниях [1, 106с.; 4, 432 с.].

Не менее важным компонентом экомониторинга является мониторинг качества окружающей среды, позволяющий оценить абиотические (химические параметры воздуха, воды, почв и пр.) и биотические изменения (изменения в составе, обилии, распространении видов и сообществ) в экосистеме.

Водные экосистемы благодаря особой роли воды на планете и крайней важности фундаментальной экологической границы вода-суша, играют в сохранении биологического разнообразия особенно значимую, каркасную роль. Существенное отличие водных экосистем от сухопутных – это особенности их функционирования и ответные реакции на антропогенное действие. Необходимо отметить, что пресноводные экосистемы (озера, реки, пруды, ручьи, родники, водно-болотные угодья) отличаются значительно большим разнообразием абиотических характеристик, чем морские и океанические. Кроме того, человеком созданы разные категории искусственных водоемов. Следует учитывать, что внутренние водные экосистемы характеризуются большим биоразнообразием и число эндемичных видов, а также большим количеством видов, находящихся в депрессивном состоянии или под угрозой исчезновения. Вместе с тем, водные экосистемы включают дикую живую природу и водные пространства, жизненно-необходимые для мигрирующих видов. Многие внутренние водоемы продолжают сохранять огромное экологическое значение для человечества (морские гидробионты формируют около 1/3 кислорода планеты, являются ценным источником протеинов и смягчают глобальные климатические изменения; обеспечивают прохождение круговоротов вещества, энергии, информации; водный туризм)

К основным антропогенным воздействиям на пресноводные экосистемы относятся: изменение речного стока в результате гидростроительства, безвозвратные потери воды при ее заборе воды в целях регулирования паводков или

для ведения сельского хозяйства, уничтожение нерстовых площадей, интродукция инвазивных чужеродных видов, загрязнение окружающей среды, браконьерство нерегулируемый промысел рыбы, последствия методов рыболовства, сток наносов с суши последствия изменения климата, снижение активности всех процессов образования и разрушения органического вещества, включая процессы первичного и вторичного его продуцирования. Воздействие этих факторов ощущается мировом масштабе, но их последствия будут различны в разных водосборных бассейнах, и очень часто их воздействие недооценивается (сокращение или утрата биоразнообразия морских и прибрежных районов на глобальном, региональном и национальном уровнях).

Важный компонент МБ – мониторинг качества среды, позволяющий оценить абиотические (химические параметры воздуха, воды, почв и пр.) и биотические изменения (изменения в составе, обилии, распространении видов и сообществ) в экосистеме с целью: 1) проведения инвентаризации, имеющих в районе видов и местообитаний в их взаимосвязи; 2) разделения естественных флуктуаций (например, нормальных колебаний численности видов) от изменений, вызванных катастрофическими причинами (гибель животных и растений под влиянием загрязнений, разливов нефти и др.); 3) вскрытия причинно-следственных отношений между внешними факторами и изменениями в популяциях видов или в экосистемах в целом. Таким образом, мониторинг является инструментом для измерения эффективности мероприятий, проведенных по сохранению биоразнообразия, и по выявления природных и антропогенных биологических тенденций [6, 256с.; 7, с. 318].

Для контроля качества среды обитания в биомониторинге используют биоиндикаторы–организмы или сообщества организмов, присутствие, количество или особенности развития которых, служат показателями естественных процессов и условий или антропогенных изменений среды обитания. Многие из них очень чувствительны и избирательны по отношению к различным факторам среды (химическому составу почвы, вод, атмосферы, климатическим и погодным условиям, присутствию других организмов и т. п.) и часто характеризуются узким диапазоном экологической валентности в диапазоне изменения этих факторов (скопления морских рыбадных птиц свидетельствует о подходе косяков рыб).

Следует указать, что мониторинг водной среды отработан наиболее эффективно. Специфические организмы планктона и бентоса указывают на происхождение водных масс и течений, характеризуют определенные параметры среды обитания (соленость, температура и т.п.). Локальные внутривидовые группировки у многих животных (рыбы) имеют в зависимости от района обитания различные комплексы паразитов-индикаторов. При помощи биоиндикаторов устанавливают содержание в субстрате биологически активных веществ, определяют интенсивность различных химических (рН, содержание солей и др.) и физических (радиоактивность и др.) факторов среды. Важный аспект биоиндикации – оценка загрязнения окружающей среды (биотестирование) и постоянный контроль ее качества и изменений (биомониторинг). Так, после аварийного разлива нефти резко увеличивается численность углеводо-

родокисляющих бактерий (на 3–5 порядков величины). Если в чистых водных экосистемах они составляют обычно менее 0,1% от общего микробного населения, то в экосистемах океана, загрязненного нефтью, их доля может составить 100%. Гетеротрофные индикаторные бактерии объединяют в группы в зависимости от используемого субстрата (гексадекан – окисляющие, бенз(а)пирен – трансформирующие, ксилит-трансформирующие, полихлор – бифенил – транс- формирующие). Определение индикаторных групп бактерий положено в основу микробного тестирования распространения тех или иных загрязняющих веществ в различных экосистемах [13, 496с.].

Известны разные методы оценки состояния и динамики биоразнообразия на разных иерархических уровнях организации водных биосистем: 1) Биолюминесценция (свечение), которая широко распространена в природе и известна у бактерий, грибов, представителей разных типов животных – от простейших до хордовых. Наиболее часто в качестве биоиндикаторов используют морские люминесцентные бактерии, у которых специальными приборами измеряют изменение интенсивности свечения под действием токсикантов [2, 298 с.]. Отклик люминесцентных бактерий на токсические вещества достоверно коррелирует с таковым у других биологических организмов, а величина 50% тушения свечения (EC50) достоверно коррелирует с величиной 50% летальной дозы (LD50) для человека. 2). Фотосинтетическая активность – по первичной продукции, характеризующей исходный уровень биологической продуктивности и поток энергии по пищевым цепям. Ее оценивают по изменению интенсивности флуоресценции хлорофилла при переходе фотосинтетического аппарата из активного состояния в неактивное. У водорослей выявлена корреляция параметра переменной флуоресценции с фотосинтетической продукцией клеток фитопланктона, определенной по скорости выделения кислорода или по фиксации CO₂ [5, с. 256-258]. Кроме того, этот метод используется при анализе сточных вод, при определении содержания нефтепродуктов в водной среде. На основе флуоресцентных методов в комбинации с лазерной оптикой разработаны приборы для дистанционного контроля состояния экосистем и содержания в них отдельных загрязняющих веществ. Эти методы наряду с другими используются в космическом мониторинге [13, 496 с.]; 3) Генетические методы (изменение и структурные изменения хромосом)- характеризует мутагенную активность среды, а наличие таких аномалий можно использовать в качестве индикатора стресса, вызывающего образование аномальных клеток и снижение устойчивости иммунной системы 4). Биоэнергетические методы позволяют установить снижение качества среды до повреждающего действия загрязнений на организм, когда регистрируются ранние изменения в физиологическом гомеостазе по показателям интенсивности энергетического метаболизма особи (метод респирометрии). Количество энергии, расходуемой на процессы роста особи в стрессовых условиях, всегда выше, чем в оптимальных, из-за дополнительных затрат энергии на компенсацию таких воздействий, поэтому количество энергии, затраченная в период роста, является характеристикой качества среды [11, 237 с.]. 5) Иммунологические методы – позволяют фиксировать возникновение заболеваний или антигенное воздействие по из-

менению состава и численности иммунокомпетентных клеток, и появлению специфических компонентов [3, 224с.; 11, 237 с.]; 6). Патологоанатомические и гистологические методы – позволяют обнаружить влияния сильных токсических агентов по серьезным перестройкам в структуре и функции клеток, регистрируемые на тканевом уровне, а также и любое нарушение развития половых клеток и гонад, которые можно рассматривать как сигнал о наличии неблагоприятных изменений. Особенно широко эти методы используются для оценки последствий различных видов стрессового воздействия в отношении рыб; 7). Токсикологические методы – оценивают действие токсичных свойств веществ с использованием модельных живых систем в лабораторных условиях (тест-систем – культуры водных организмов: ракообразных (дафнии), водорослей или бактерий [9, 120с.; 10, 156 с.]; 8). Эмбриологические методы – базируются на уязвимости ранних стадий развития организма к воздействию внешних факторов. На стадии дробления и на стадии формирования зародышевых органов и тканей даже незначительные воздействия, как правило, приводят к видимым уродствам на более поздних стадиях или даже гибели зародышей. Как тест-объекты используют быстро развивающиеся и дающие многочисленное потомство животных (рыбы, моллюски, земноводные, насекомые). При выборе объекта учитывают легкость культивирования [8, 47 с.]; 9) Эколого-биохимические методы – основаны на изучении биологии гидробионтов. Несмотря на то, что гидросфера, как среда жизни, наиболее сложна для мониторинговых исследований, на водоемах возможно проведение мониторинга высокого уровня – эколого-биохимического контроля химических, гидрологических и гидробиологических показателей. Именно особенности биологии гидробионтов (рыб) позволяют уловить малейшие изменения в их обмене веществ еще до появления морфологических, физиологических, популяционных и других отклонений от нормы. Поэтому ранняя диагностика метаболизма гидробионтов фиксирует поступление в воду даже ничтожных количеств загрязнений и позволяет проводить эколого-биохимический мониторинг. При разработке мер по сохранению биоразнообразия морей необходимо учитывать многолетние колебания видового состава гидробионтов, обусловленные природными процессами. Система эколого-биохимического мониторинга необходима для контроля за биологическим состоянием еще не загрязненных токсикантами территорий акватории, и для выяснения причин различных патологий, возникающих под влиянием антропогенного стресса, их динамики во времени. Ее можно использовать в экспертизах и при арбитражах, связанных с различными отравлениями живых организмов промышленными и сельскохозяйственными выбросами.

Таким образом, мониторинг водных экосистем, разработка и внедрение новых методов сбора и обработки информации о биоразнообразии, структурно-функциональной организации и основных видах антропогенного воздействия на экосистемы водоемов, внедрение современных ГИС технологий, создание региональных кадастров гидробионтов остается главным методом контроля и сохранения видового разнообразия гидросферы, как одной из сред жизни, и биосферы в целом.

Список литературы:

1. Балущина Е.В. Методы биологического анализа пресных вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1976. С. 106.
2. Данилов В.С., Егоров Н.С. Бактериальная биолюминесценция. М.: МГУ, 1985. 298 с.
3. Кондратьева И.А., Киташов А.В., Рокк Ф. Применение иммунологических методов при изучении иммунозащитных реакций у рыб и беспозвоночных животных. Практикум по иммунологии. М.: МГУ, 2001. 224 с.
4. Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А., Пузаченко Ю.Г. География и мониторинг биоразнообразия. М.: Научный и учебно-методический центр, 2002. 432 с.
5. Маторин Д.Н., Венедиктов П.С., Конев Ю.Н., Казимирко Ю.В., Рубин А.Б. Использование двуххвостового импульсного погружного флуориметра для определения фотосинтетической активности природного фитопланктона // Докл. РАН, 1996, Т. 350. № 2. С. 256–258.
6. Примаков Р. Основы сохранения биоразнообразия. М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. 256 с.
7. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
8. Софронов Е.А., Румак П.С., Поздняков С.П., Умнова Н.В., Бовтюшенко В.Г. Медико-биологические основы оценки опасности экотоксикантов. СПб.: ВмедА, 1999. 47 с.
9. Федоров В.Д., Капков В.Н. Руководство по гидробиологическому контролю качества природных вод. М.: Христианское изд-во, 2000. 120 с.
10. Филенко О.Ф. Водная токсикология. М.: МГУ-Черноголовка, 1988. 156 с.
11. Хаитов Р.М., Пинегин Б.В., Истамов Х.И. Экологическая иммунология. М.: Изд. ВНИРО, 1995. 237 с.
12. Шилов И.А. Экология. Учебник. М.: Высшая школа, 1997. 512 с.
13. Экологическая диагностика: Энциклопедия (серия «Безопасность России»). М.: МГФ Знание-Машиностроение, 2000. 496 с.

© 2015, Киреева И.Ю.

Особенности мониторинга биоразнообразия
водных экосистем

© 2015, Kirieieva I.Yu.

The monitoring features of aquatic biodiversity