

Водные биоресурсы и среда обитания
2020, том 3, номер 2, с. 7–16
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2020, vol. 3, no. 2, pp. 7–16
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 502.52:504.7/574.52

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ БИОИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2020 С. С. Баринава

Институт эволюции, Университет Хайфы, 3498838 Хайфа, Израиль
E-mail: sophia@evo.haifa.ac.il

Аннотация. В обзорной статье рассматриваются проблемы, связанные с внедрением методов биоиндикации континентальных и морских водных объектов в региональном масштабе, и пути их решения. Описываются возможности экологических оценок при расширении применения указанных методов. Уделено внимание методам, которые дают возможность более широкой интерпретации полученных данных биоиндикации в экологических оценках, таким как визуализация. Даются ссылки на работы, где описаны обновленные методы экологического картографирования данных по показателям среды, биоты и результатов биоиндикации как на площади лентических водных объектов, так и для лотических, включая площадь водосборного бассейна. Приводится таблица имеющихся данных об индикаторах свойств воды по водорослям, цианобактериям, мохообразным, папоротникообразным и высшим водным растениям, средой обитания для которых служат континентальные водные объекты. Даны ссылки на источники, в которых имеются списки индикаторных организмов водорослей для 12 параметров среды, а также примеры применения биоиндикации по ним на водных объектах различного типа. Особо подчеркивается, что важно включать в региональные списки индикаторы второго и третьего трофических уровней, в частности водных беспозвоночных, которые имеют особенности регионального распространения. Указаны статистические программы, позволяющие оптимизировать работу со списками индикаторов и их количественными данными в сообществах. Сделано заключение о необходимости создания региональных баз данных по индикаторным таксонам различного трофического уровня.

Ключевые слова: биоиндикация, экологические оценки, базы данных

ON THE NEED TO DEVELOP REGIONAL DATABASES FOR THE BIOINDICATORS OF THE STATE OF WATER BODIES

S. S. Barinova

Institute of Evolution, University of Haifa, 3498838 Haifa, Israel
E-mail: sophia@evo.haifa.ac.il

Abstract. This review article discusses the problems associated with the implementation of bioindication methods for continental and marine water bodies at a regional scale, and ways to solve them. The possibilities of environmental assessment opening up with the expansion of the application of bioindication methods are described. Methods that enable a broader interpretation of the obtained bioindication data in environmental assessments, such as visualization, are considered. References to works describing updated methods of environmental mapping of data based on environmental indicators, biota, and bioindication results in the area of both lentic and lotic water bodies, including the water catchment area, are given. A table of the available data on the indicators of water properties by algae, cyanobacteria, bryophytes, fern-like and higher aquatic plants, which habitat is confined to continental water bodies, is presented. References to the sources that contain lists of algae indicator organisms for 12 environmental parameters are given, as well as examples of their application in bioindication at water bodies of various types. It is emphasized that it is important that indicators of the second and third trophic levels, especially aquatic invertebrates, which have regional distribution specific features, are included in the regional lists. Statistical software programs that offer the possibility to optimize working with lists of indicators and their quantitative data in communities are presented. It is concluded that there exists the need to create regional databases on indicator taxa of various trophic levels.

Keywords: bioindication, environmental assessment, database

ВВЕДЕНИЕ

В течение ряда лет наше внимание было сфокусировано на разработке и применении методов биоиндикации водных объектов [1, 2], подбора и анализа адекватности имеющихся разрозненных данных, выработке стройной системы применения методов биоиндикации и классификации качества поверхностных вод для наиболее объемного по параметрам экологического анализа состояния водных экосистем, пригодного для использования не только учеными, но и теми, кто принимает административные и хозяйственные решения [1, 2].

В современный период практически все водные объекты подвергаются антропогенному прессу. Основным видом антропогенного воздействия на них является загрязнение широким спектром органических и неорганических веществ, поступающих из точечных и рассеянных источников [3]. В связи с тем, что влияние антропогенного пресса на водные объекты достигло глобальных масштабов, особую важность приобрела необходимость оценки экологического состояния водных экосистем и степени их травмирования антропогенными загрязнителями. Более того, для оценки зон экологического бедствия по Федеральному Закону «Об охране окружающей среды» [4] рекомендовано использовать документ Минприроды РФ [5], в котором часть по охране водных экосистем разработана автором еще в 1992 г. В этом руководящем документе предусмотрена разработка экспертной системы для информационной поддержки Государственной экологической экспертизы, в обязанности которой входит сбор и обработка региональной информации в

оцифрованном виде и основной задачей которой является классификация территорий по степени экологического неблагополучия. Однако биоиндикаторные и экологические свойства региональной биоты находятся в руках ученых и до настоящего времени не собраны в рабочие базы данных для последующего унифицированного введения в пользование в рамках подзаконных актов по Государственной экспертизе РФ.

Основополагающим принципом оценки экологического состояния водных объектов является экосистемный подход, суть которого состоит в широкой представленности как абиотических, так и биотических компонентов в применяемых методах анализа [1, 2, 6, 7].

Специфика современного подхода к оценке экологического состояния водных экосистем состоит в приоритетном значении биоты, при котором вода все чаще анализируется не как ресурс, а как среда обитания биоты [8]. Известно, что состояние водных экосистем наиболее адекватно можно охарактеризовать по составу группировок их организмов [1, 8–12]. Именно живым организмам принадлежит основная роль при оценке экологического состояния водных объектов [10].

В соответствии с Водной рамочной директивой ЕС 2000/60/ЕС, основная роль при оценке экологического состояния водных объектов отводится биоиндикации — характеристике свойств водных экосистем по качественным и количественным параметрам гидробионтов. В зависимости от типа водного объекта приоритетное значение имеют разные экотопические группировки гидробионтов. В каче-

стве биондикаторов при этом используются фитопланктон, фитобентос, высшие водные растения, донные беспозвоночные и рыбы [10]. Необходимо также подчеркнуть, что при соблюдении экосистемного подхода к оценке экологического состояния водных объектов обязательной является характеристика физико-химических условий, обеспечивающих жизнедеятельность гидробионтов. Связь экологии видов водной биоты и параметров среды их обитания, а также количественное соотношение в сообществах предлагается к использованию как варианты методов биоиндикации [13–18].

Трофические уровни и биоиндикация

Известно, что водоросли как автотрофы формируют основу трофической пирамиды и являются важным компонентом биоты разнотипных водных объектов. Кроме того, они весьма чувствительны к изменению экологических факторов среды и достаточно четко реагируют на различные антропогенные воздействия: загрязнение неорганическими и органическими веществами, температурное загрязнение, зарегулирование стока и т. д. [3]. Интенсивность этих воздействий отражается не только на количественном развитии водорослей, но и на их видовом составе. Это и обуславливает эффективность применения их сообществ для характеристики экологического состояния водных экосистем. В руководствах по методам биоиндикации большее внимание уделяется группам второго и третьего трофического уровня, то есть беспозвоночным и рыбам [13–18]. Однако число таксонов организмов высших трофических уровней, участвующих в экологических оценках, на два порядка ниже, чем водорослей и цианобактерий. Кроме того, географическое распространение видов-консументов в своем большинстве имеет региональную привязку к местам обитания. Несмотря на эти особенности и ограничения, индикаторы более высоких трофических уровней, несомненно, должны быть представлены в региональных базах данных. Именно это обращает на себя внимание при воплощении идеи использования биоиндикации для оценки качества вод конкретных водных объектов.

При использовании фитопланктона в качестве биоиндикатора показательное значение имеют его видовой состав и доминирующие комплексы, размерные характеристики, структура сообществ, их количественные параметры. Именно эти характеристики водорослей используются при биоиндикации водоемов и водотоков. Существенным также

является то, что этот метод имеет определенные преимущества по сравнению с химическим анализом водной среды, поскольку не требует значительных материальных затрат, но дает интегральные оценки.

Биоиндикационный анализ — современное направление исследования состояния окружающей среды. Гарантией его быстрого развития стала возможность комплексной оценки влияния экологических факторов на экосистему в целом с помощью исследования определенных видов-индикаторов среды. Микроводоросли быстро реагируют на изменения в экологическом состоянии среды обитания, их сообщества богаты и разнообразны, поэтому они являются наиболее удобным объектом биоиндикационных исследований. Определение экологического состояния охраняемых территорий имеет важное значение, поскольку позволяет оценить адекватность охранного статуса этих территорий и методов охраны, тем более что зоологические таксоны имеют географическую приуроченность. Таким образом, биоиндикационные исследования необходимо расширить, включив индикаторы обоих трофических уровней и создав региональные базы данных по индикаторным таксонам.

Региональный видовой состав как основа базы данных индикаторов

Альгофлора как видовой состав определенного географического выдела сама по себе имеет индикаторное значение, выражающееся в соотношении ее таксономического состава. Обычно более 90 % выявленного видového состава водорослей и цианобактерий континентальных вод могут быть использованы в качестве индикаторных таксонов более чем для 10 параметров среды их обитания [1, 2].

Таким образом, в основе региональной базы данных в первую очередь лежит вопрос изученности водных объектов, территории и компиляции списка водной флоры и фауны. Число таксонов видového и внутривидového ранга, потенциальных индикаторов параметров воды обычно составляет несколько сотен в зависимости от выделенного региона или состояния его изученности. Если сравнить удельное разнообразие, впервые предложенное как индекс для альгофлор (Index Taxa/Area) и рассчитанное нами для некоторых стран Восточной Европы [2], т. е. флоры водорослей по опубликованным данным, например, на территории Украины ($0,0109$ таксон/ км^2) и сопредельных, сходных в климатичес-

ком отношении, государств, то оказывается, что более насыщена видами территория Республики Беларусь (0,0113), а также Румынии (0,0187), но Украине уступает Турция (0,0078). На территории Украины сравнимым с общим распределением по стране оказался бассейн Южного Буга (0,0088), тогда как относительная таксономическая плотность в бассейне Днепра в пределах Украины заметно отстает в изученности (0,0032). Для других бассейнов и территорий Украины пока не составлено обобщающих списков, что предстоит сделать в будущем, однако уже сейчас видно, что, несмотря на большое число видов из выявленного к настоящему времени разнообразия водорослей, на территории страны еще есть большой потенциал для увеличения таксономического списка при дальнейших исследованиях. Соответственно, возрастет и число видов-индикаторов для водных местообитаний Украины, представляющее к настоящему времени 3318 индикаторных таксонов водорослей и цианобактерий. Опыт создания региональных баз данных впервые появился у Украины — пока что единственного региона Евразии, для которого составлен региональный список водорослей и цианобактерий, индикаторов качества воды по 12 параметрам, что расширит возможности для оценок и мониторинга.

Составление списков видового состава водной биоты является первым шагом на пути создания базы данных по индикаторам конкретного региона. Первым опытом в этом направлении был анализ видового состава из опубликованных работ по территории (альгофлоры), систематизирован и актуализирован список водорослей с последующим выделением таксонов-индикаторов для водных объектов Украины [2] на основе разработанной в Институте эволюции Университета Хайфы базы данных (таблица). Методы и примеры их применения для биоиндикации различных водных объектов территории показали широкие возможности для экологических оценок.

Структура сообщества в биоиндикации

Биологическое разнообразие водорослевых сообществ проявляется как однородность распределения особей по таксонам и рассчитывается на основе теории информации в виде индексов, из которых наиболее широко используется индекс Шеннона-Уивера, который предлагается рядом авторов к использованию в биоиндикации [1, 13], поскольку отражает также энтропию системы, что

наиболее видно на примерах расчетов для автотрофов. Водорослевые сообщества обладают низкой организованностью и большими скоростями воспроизводства клеток, что проявляется в их высокой энтропии (амплитуда H для сообществ водорослей, по [1, 19] и другим опубликованным данным, составляет 0–5,2 бит) и в то же время позволяет отслеживать процессы изменения состояния экосистем.

Классификационные параметры в индикации воздействий

На ряде разномасштабных примеров были установлены [1] различные варианты соотношений средовых и биотических оценок в одной и той же классификационной системе [20]. Если оценки по среде и биоте близки или совпадают, то состояние экосистемы определяется в соответствии с этапами/категориями риска. Если же оценки по биоте и по гидрохимии не совпадают, то возможны два варианта оценок. Если классификационный разряд качества по водорослям выше разряда по среде, то идет активное эвтрофирование. В противном случае (разряд качества по водорослям ниже разряда по среде) имеет место токсическое воздействие на водную биоту и процесс самоочищения подавлен [21]. На этих соответствиях построен расчет индекса состояния экосистемы WESI (Water Ecosystem State Index). Использование этого индекса, рассчитываемого с помощью данных биоиндикации, может помочь выявить критические точки на бассейнах изучаемых водных объектов, где загрязнение и его динамика не должны уходить от внимания исследователей и администрации, ответственной за систему принятия решений о сохранении и использовании водного объекта.

Региональное экологическое картографирование результатов биоиндикации

В ряде случаев оценка состояния водных экосистем оказывалась различной на разных участках речного бассейна. На основе такого рода данных сформировался новый подход в экосистемно-бассейновых оценках [1, 22], что позволило выделять его критические участки [1, 23, 24], а это, в свою очередь, дает возможность определить характер неблагоприятного воздействия и расположение его источника на территории как водосборного бассейна [22], так и при рассеянном (диффузном) воздействии на водные экосистемы [25].

На основе опыта биоиндикационных оценок [1, 26] рассчитывается новый показатель (интегральный для логических водных объектов) — индекс

Число индикаторных таксонов водорослей, цианобактерий, мхов, папоротников и высших водных растений в базе данных Института эволюции Университета Хайфы

The number of indicator taxa of algae, cyanobacteria, mosses, ferns and higher aquatic plants in the database of the Institute of Evolution of the University of Haifa

Номер п/п Number	Таксон Taxon	Число индикаторных таксонов The number of indicator taxa
1	Cyanobacteria	831
2	Chlorophyta	1102
3	Charophyta	1431
4	Rhodophyta	50
5	Glaucophyta	1
6	Нартrophyta	6
7	Bacillariophyta	2629
8	Euglenozoa (Euglenophyta)	1232
9	Cryptophyta	43
10	Ochrophyta (Chrysophyta)	495
11	Ochrophyta (Xanthophyta)	87
12	Ochrophyta (Raphidophyta)	8
13	Ochrophyta incertae sedis	1
14	Ochrophyta (Dictyochophyceae)	1
15	Miozoa (Dinoflagellata)	146
16	Craspedophyta (Protozoa)	1
17	Katablepharidophyta (colorless flagellate)	4
18	Choanozoa (Protozoa)	29
19	Choanozoa (class Choanoflagellida)	1
20	Percolozoa (Protozoa)	4
21	Sarcomastigophora (Protozoa)	2
22	Protozoa (Amoebozoa)	9
23	Protozoa (colorless flagellate)	2
24	Protozoa (Sarcomastigophora)	1
25	Protozoa incertae sedis	11
26	Metamonada (Protozoa)	8
27	Flagellata Achromatica	3
28	Free-living heterotrophic flagellates	1
29	Cercozoa (Sponges)	1
30	Bigyra	19
31	Chlorobacteria	31
32	Chlorobia (sulfur bacteria)	2
33	Proteobacteria	14
34	Rhodobacteria	50
35	Ascomycota	1
36	Eukaryota unassigned phylum	1
37	Eukaryota	1
38	Bryophyta	59
39	Pteridophyta	1
40	POLYPODIOPHYTA	6
41	MAGNOLIOPSIDA	83
	Всего Total	8408

загрязнения реки (RPIs) [1], который помогает выявить нестабильность экосистемных процессов; он уже частично опробован в Украине, России,

Израиле, Турции, Казахстане, Таджикистане, и его также можно использовать в последующих исследованиях на реках других стран. Этот индекс мож-

но рассчитать как для каждого из показателей качества воды текучего водного объекта, так и для различных биотических показателей, и он может служить паспортной величиной при мониторинге региональных (или трансграничных) бассейнов. Таким образом, усиливается необходимость создания региональных индикаторных баз данных.

Экологическое картографирование разнообразия водорослей и цианопрокариот и результатов биоиндикации на основе данных обследования многих разномасштабных водных объектов на территории Евразии выявило географические закономерности распределения видового богатства водных экосистем и их состояния по категориям риска [27], которые имеют не только оценочное, но и прогностическое значение и могут быть использованы в системе мониторинга и принятия решений по данным биоиндикации на водных объектах как Евразии, так и Северной Америки [28, 29].

В свою очередь, экологическое картографирование показателей на лентических объектах зарекомендовало себя как аппарат выявления воздействий на экосистему и ее динамики в разных аспектах [22, 30], следовательно, может быть продолжено на разнообразных водных объектах, относящихся к конкретному региону.

Региональные индикаторы морской среды

Особый интерес представляют данные о видах-индикаторах морской среды, развитие базы по которым представляется не только актуальным, но и необходимым. Имеющийся опыт показывает важность этого метода не только для экологических оценок и выявления источников загрязнения [31–33], но также и для рассмотрения трансграничных аспектов в системе принятия решений.

Статистические методы в региональных оценках

Статистические методы, широко применяемые в экологическом анализе [2, 13], также предстоит включить в систему обработки полученных гидробиологами данных. Так, анализ видового богатства и разнообразия водорослей и беспозвоночных [29] континентальных вод на различных уровнях организации показывает экологию критических видов, экологию сообществ. Экологические факторы воздействия и тренды с применением программ CANOCO и Statistica 12.0 помогают установить связь современных факторов среды с составом сообществ, а вместе с программами PRIMER-v5, BioDiversity Pro, Ver. 2. и ExStatR, GRAPHS, JASP

как часть программы R Statistica — дают возможность определить факторы исторического воздействия при формировании водорослевого сообщества.

Развитие и перспективы использования региональных баз данных биоиндикаторов

Поскольку наши заключения и примеры практического применения методов биоиндикации в разных аспектах рассматривались в целях унификации и наибольшего охвата при анализе данных о биоразнообразии и биоиндикации более по водорослям-индикаторам [34] двенадцати параметров среды в водах континентальных водоемов, то при разработке региональных баз индикаторов список таксонов может быть расширен за счет данных об индикаторных таксонах беспозвоночных, мхов, папоротников и высших водных растений, средой обитания которых являются водные объекты (таблица). На основе этого может быть составлена региональная база данных видов-индикаторов для последующего использования в экологических оценках и мониторинге.

Таким образом, биоиндикация по водорослям и другим организмам, связанным с водной средой обитания, остается одним из актуальных методов оценки не только качества воды, но и состояния водной экосистемы в целом, поскольку охватывает широкий спектр показателей и имеет в своей основе экологические предпочтения видов. Исследования показывают важность единой сбалансированной и выверенной на основе интеркалибрации классификационной системы в оценке качества воды [34] для дальнейшего развития биоиндикации. Перспективы мы видим не столько в разработке новых индексов трофики и загрязнения, имеющих ограниченное применение, сколько в развитии новых подходов для привлечения данных о разнообразии и составе сообществ водорослей и других организмов континентальных вод и формирования региональных баз данных по индикаторным таксонам различного трофического уровня. Как видно из таблицы, число известных индикаторов весьма велико, приближается к 8500 названиям, данные по индикаторным свойствам которых собраны из 64 литературных сводок. Такую базу не только трудно опубликовать, но и трудно ею пользоваться для региональных оценок. Следовательно, возникает необходимость упрощения работы путем создания конкретных баз данных по экологическим предпочтениям таксонов водной биоты. В таблицу (и в базу

данных Института эволюции) в настоящее время не включены индикаторные значения таксонов второго и третьего трофических уровней, однако данные по ним имеются и пополняются. Скомпилированную базу нельзя считать завершённой, так как появляются новые работы, фиксирующие экологию водных организмов, и, следовательно, данные в базе не только пополняются, но и обновляются. В широком масштабе эта работа занимает существенное время, несмотря на то, что информация вводится и суммируется с использованием Microsoft Access. Однако работа с региональными данными позволит сократить время и конкретизировать список индикаторных организмов, что сделает проведение биоиндикации более простым и доступным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении можно отметить, что направлением, весьма перспективным для понимания региональных и глобальных изменений, является биоиндикация климатического воздействия на водные экосистемы на различных уровнях — от альфа- до гамма-разнообразия. Разработанные индексы состояния экосистемы показывают новый аспект оценки токсического воздействия с помощью биоиндикации. Индексы загрязнения реки, интегрирующие как биологические, так и гидрохимические данные по водотоку (либо для водоема во временном ряду), оказываются перспективными не только для собственно оценки, но и для понимания стабильности условий водного объекта [1]. Бассейновый подход в отображении и интерпретации данных биоиндикации выявляет связи наших оценок с событиями, происходящими на площади водосбора, что позволяет найти скрытые, неявные источники воздействия на водную биоту, наряду с уже определенными [1, 22, 25]. В перспективе бассейновое картографирование качества воды возможно и необходимо вести с применением GIS, оптимизируя работу в мониторинге в рамках Федерального закона [4] в соответствии с основными принципами [5]. Исследования последних лет показывают, что при подборе данных о разнообразии и экологии водорослей, адекватных поставленному вопросу, возможно не только определить качество воды и источник загрязнения, но и выявить климатические градиенты, а также группы водных организмов, наиболее ярко их отражающие. Развитие биоиндикации в целом и для каждого конкретного региона

в частности, таким образом, связано с применением новых подходов к уже имеющейся обширной информации и с получением новой. Перспективно применение статистической обработки данных с помощью программ, соответствующих поставленной задаче, с последующей визуализацией результатов методом экологического картографирования, выводы которого могут служить рекомендацией по оптимизации исследований и для системы принятия хозяйственных решений, подготовки технической и научной информации, публикации в специализированных журналах и конференциях.

БЛАГОДАРНОСТИ

Проект был частично поддержан Министерством алии и интеграции Израиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio Publisher, 2006. 498 с.
2. Барина С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа, К.: Изд-во Университета Хайфы, 2019. 367 с.
3. Оксий О.П., Давыдов О.А. Оценка экологического состояния водных объектов по микрофитобентосу. К.: Изд-во Института гидробиологии НАНУ, 2006. 32 с.
4. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 27 декабря 2019 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения 28.03.2020).
5. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика Министерства природных ресурсов РФ от 30.11.1992. М.: Наука, 1992. 197 с.
6. Жукин В.Н., Оксий О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества воды // Гидробиологический журнал. 1976. Т. 12, № 6. С. 103–111.
7. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Archiv für Hydrobiologie — Beihefte Ergebnisse der Limnologie. 1973. No. 7. 218 p.
8. Афанасьев С.А. Развитие европейских подходов к биологической оценке состояния гидрэкосистем в мониторинге рек Украины // Гидробиологический журнал. 2001. Т. 37, № 5. С. 3–18.

9. Рысин Л.П. Тип экосистемы как элементарная единица в оценке биоразнообразия на экосистемном уровне // *Экология*. 1995. № 4. С. 259–262.
10. Tett R., Carreira C., Mills D.K., van Leeuwen S., Foden J., Bresnan E., Gowen R.J. Use of a phytoplankton community index to assess the health of coastal waters // *ICES Journal of Marine Science*. 2008. Vol. 65, no. 8. Pp. 1475–1482. doi: /10.1093/icesjms/fsn161.
11. Medvedeva L.A., Barinova S., Semenchenko A.A. Use of algae for monitoring rivers in the monsoon climate areas (Russian part of Asian Pacific Region) // *International Journal of Environment and Resource*. 2012. Vol. 1, no. 1. Pp. 39–44.
12. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal of the European Communities*. 2000. No. 327. 72 p. URL: http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html (дата обращения 18.10.2018).
13. Груздев В.С. Биоиндикация состояния окружающей среды. М.: ИНФРА-М, 2018. 160 с. doi: 10.12737/monography_5a6f02e2738690.08466285.
14. Жукова А.А., Мастицкий С.Э. Биоиндикация качества природной среды : пособие. Минск: Изд-во Белорусского государственного университета, 2014. 113 с.
15. Рассадина Е.В. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2007. № 2 (5). С. 48–53.
16. Мукминов М.Н., Шуралев Э.А. Методы биоиндикации : учеб.-метод. пособие. Казань: Изд-во Казанского федерального университета, 2011. 48 с.
17. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация : учеб. пособие. Тверь: Изд-во Тверского государственного университета, 2004. 260 с.
18. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды : учеб. пособие. Ч. 1. Методы биоиндикации. Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2007. 84 с.
19. Barinova S.S. Empirical model of the functioning of aquatic ecosystems // *International Journal of Oceanography & Aquaculture*. 2017. Vol. 1, issue 3. Pp. 1–9.
20. Barinova S. On the classification of water quality from an ecological point of view // *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 2017. Vol. 2, issue 2. Pp. 1–8. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555581.
21. Баринова С.С. Проблема интегральной оценки токсического влияния на фотосинтетические организмы в водных экосистемах // *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2018. Т. 1, № 1. С. 39–43.
22. Barinova S. Ecological mapping in application to aquatic ecosystems bioindication: problems and methods // *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 2017b. Vol. 3, issue 2. Pp. 36–42. doi: 10.19080/IJESNR.2017.03.555608.
23. Krupa E., Barinova S., Aubakirova M. Tracking pollution and its sources in the catchment-lake system of major waterbodies in Kazakhstan // *Lakes & Reservoirs*. 2020. Vol. 25, issue 1. Pp. 18–30. doi: 10.1111/lre.12302.
24. Krupa E., Barinova S., Romanova S.M. Ecological mapping in assessing the impact of environmental factors on the aquatic ecosystem of the Arys River Basin, South Kazakhstan // *Diversity*. 2019. No. 11 (12). e239. Pp. 1–16. doi: 10.3390/d11120239.
25. Skorobogatova O., Yumagulova E., Storchak T., Barinova S. Bioindication of the influence of oil production on sphagnum bogs in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra, Russia // *Diversity*. 2019. No. 11 (11). e207. Pp. 1–19. doi: 10.3390/d11110207.
26. Barinova S. Algal diversity dynamics, ecological assessment, and monitoring in the river ecosystems of the eastern Mediterranean. New York: Nova Science Publishers, 2011. 363 p.
27. UNEP/IPCS. Training module No. 3. Chemical risk assessment. Human risk assessment, environmental risk assessment and ecological risk assessment / J.H. Duffus, M.V. Park. (Eds.). Edinburgh: Edinburgh Centre for Toxicology Publ., 1999. 222 p.
28. Use of algae for monitoring rivers / B.A. Whitton, E. Roth, G. Friedrich. (Eds.). Innsbruck: Institut für Botanik Universität Press, 1991. 196 p.
29. Protasov A., Barinova S., Novoselova T., Sylaiyeva A. The aquatic organisms diversity, community structure, and environmental conditions // *Diversity*. 2019. No. 11 (10). e190. Pp. 1–17. doi: 10.3390/d11100190.
30. Barinova S., Smith T. Algae diversity and ecology during a summer assessment of water quality in the Abraham Lincoln Birthplace National Historical Park, USA // *Diversity*. 2019. No. 11 (11). e206. Pp. 1–20. doi: 10.3390/d11110206.
31. Мирненко Э.И., Захаренкова Н.С. Тенденции в выборе водорослей — индикаторов морской среды // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2016. № 3–4. С. 13–22.
32. Barinova S., Bondarenko A., Ryabushko L., Kapranov S. Microphytobenthos as an indicator of water quality and organic pollution in the western coastal zone of the Sea of Azov // *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2019. Vol. 48, no. 2. Pp. 21–35. doi: 10.1515/ohs-2019-0013.
33. Ryabushko L.I., Lishaev D.N., Kovrigina N.P. Species diversity of epilithon diatoms and the quality of the waters of the Donuzlav Gulf ecosystem (Crimea, the Black Sea) // *Diversity*. 2019. No. 11 (7). e114. Pp. 1–12. doi: 10.3390/d11070114.
34. Barinova S. Essential and practical bioindication methods and systems for the water quality assessment //

International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources. 2017. Vol. 2, issue 3. e555558. Pp. 1–11. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555588.

REFERENCES

- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushchey sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment]. Tel Aviv: Pilies Studio Publisher, 2006, 498 p. (In Russian).
- Barinova S.S., Belous E.P., Tsarenko P.M. Al'goindikatsiya vodnykh ob'ektov Ukrainy: metody i perspektivy [Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and prospects]. Haifa, Kiev: Universitet Khayfy [University of Haifa] Publ., 2019, 367 p. (In Russian).
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov po mikrofitobentosu [Assessment of the ecological state of water bodies by microphytobenthos]. Kiev: Institut gidrobiologii NANU [Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine] Publ., 2006, 32 p. (In Russian).
- Federal'nyy zakon ot 10 yanvarya 2002 g. No. 7-FZ "Ob okhrane okruzhayushchey sredy" (s izmeneniyami na 27 dekabrya 2019 g.) [Federal Law dated January 10, 2002 No. 7-FZ "On environmental protection" (as amended on December 27, 2019)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901808297> (accessed 28.03.2020). (In Russian).
- Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territorii dlya vyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya. Metodika Ministerstva prirodnykh resursov RF ot 30.11.1992 [Criteria for assessing the environmental situation of territories to identify areas of environmental emergency and zones of environmental disaster. Guidelines of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated November 30, 1992]. Moscow: Nauka [Science], 1992, 197 p. (In Russian).
- Zhukinskiy V.N., Oksiyuk O.P., Tseeb Ya.Ya., Georgievskiy V.B. Proekt unifikirovannoy sistemy dlya kharakteristiki kontinental'nykh vodoemov i vodotokov i ee primeneniye dlya analiza kachestva vody [The project of a unified system for the characterization of continental water bodies and streams and its application for the analysis of water quality]. *Gidrobiologicheskij zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 1976, vol. 12, no. 6, pp. 103–111. (In Russian).
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie — Beihefte Ergebnisse der Limnologie*, 1973, no. 7, 218 p.
- Afanasiyev S.A. Development of European approaches to biological assessment of the state of hydroecosystems and their application to the monitoring of Ukrainian rivers. *Hydrobiological Journal*, 2002, vol. 38, no. 4, pp. 130–148.
- Rysin L.P. Tip ekosistemy kak elementarnaya edinitsa v otsenke bioraznoobraziya na ekosistemnom urovne [Ecosystem type as an elementary unit in estimating biodiversity at the ecosystem level]. *Ekologiya [Russian Journal of Ecology]*, 1995, no. 4, pp. 259–262. (In Russian).
- Tett R., Carreira C., Mills D.K., van Leeuwen S., Foden J., Bresnan E., Gowen R.J. Use of a phytoplankton community index to assess the health of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, vol. 65, no. 8, pp. 1475–1482. doi.org/10.1093/icesjms/fsn161.
- Medvedeva L.A., Barinova S., Semenchenko A.A. Use of algae for monitoring rivers in the monsoon climate areas (Russian part of Asian Pacific Region). *International Journal of Environment and Resource*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 39–44.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, 2000, no. 327, 72 p. Available at: http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html (accessed 18.10.2018).
- Gruzdev V.S. Bioindikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy [Bioindication of the state of the environment]. Moscow: INFRA-M, 2018, 160 p. doi: 10.12737/monography_5a6f02e2738690.08466285. (In Russian).
- Zhukova A.A., Mastitskiy S.E. Bioindikatsiya kachestva prirodnoy sredy : posobie [Bioindication of the environmental quality. Manual]. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet [Belarusian State University] Publ., 2014, 113 p. (In Russian).
- Rassadina E.V. Bioindikatsiya i ee mesto v sisteme monitoringa okruzhayushchey sredy [Bioindication and its place in the system of environmental monitoring]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]*, 2007, no. 2 (5), pp. 48–53. (In Russian).
- Mukminov M.N., Shuralev E.A. Metody bioindikatsii : uchebno-metodicheskoe posobie [Methods of bioindication. Guidance manual]. Kazan: Kazanskiy federal'nyy universitet [Kazan Federal University] Publ., 2011, 48 p. (In Russian).
- Turovtsev V.D., Krasnov V.S. Bioindikatsiya : uchebnoe posobie [Bioindication. Textbook]. Tver: Tverskoy gosudarstvennyy universitet [Tver State University] Publ., 2004, 260 p. (In Russian).
- Chesnokova S.M. Biologicheskie metody otsenki kachestva ob'ektov okruzhayushchey sredy : uchebnoe posobie. Chast' 1. Metody bioindikatsii [Biological methods for assessing the quality of environmental objects. Textbook. Part 1. Methods of bioindication]. Vladimir: Vladimirskiy gosudarstvennyy universitet [Vladimir State University] Publ., 2007, 84 p. (In Russian).

19. Barinova S.S. Empirical model of the functioning of aquatic ecosystems. *International Journal of Oceanography & Aquaculture*, 2017, vol. 1, issue 3, pp. 1–9.
20. Barinova S. On the classification of water quality from an ecological point of view. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2017, vol. 2, issue 2, pp. 1–8. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555581.
21. Barinova S.S. Problema integral'noy otsenki toksicheskogo vliyaniya na fotosinteticheskie organizmy v vodnykh ekosistemakh [The problem of integral assessment of toxic influence on photosynthetic organisms in aquatic ecosystems]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 39–43. (In Russian).
22. Barinova S. Ecological mapping in application to aquatic ecosystems bioindication: problems and methods. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2017b, vol. 3, issue 2, pp. 36–42. doi: 10.19080/IJESNR.2017.03.555608.
23. Krupa E., Barinova S., Aubakirova M. Tracking pollution and its sources in the catchment-lake system of major waterbodies in Kazakhstan. *Lakes & Reservoirs*, 2020, vol. 25, issue 1, pp. 18–30. doi: 10.1111/lre.12302.
24. Krupa E., Barinova S., Romanova S.M. Ecological mapping in assessing the impact of environmental factors on the aquatic ecosystem of the Arys River Basin, South Kazakhstan. *Diversity*, 2019, no. 11 (12), e239, pp. 1–16. doi: 10.3390/d11120239.
25. Skorobogatova O., Yumagulova E., Storchak T., Barinova S. Bioindication of the influence of oil production on sphagnum bogs in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra, Russia. *Diversity*, 2019, no. 11 (11), e207, pp. 1–19. doi: 10.3390/d11110207.
26. Barinova S. Algal diversity dynamics, ecological assessment, and monitoring in the river ecosystems of the eastern Mediterranean. New York: Nova Science Publishers, 2011, 363 p.
27. UNEP/IPCS. Training module No. 3. Chemical risk assessment. Human risk assessment, environmental risk assessment and ecological risk assessment. J.H. Duffus, M.V. Park. (Eds.). Edinburgh: Edinburgh Centre for Toxicology Publ., 1999, 222 p.
28. Use of algae for monitoring rivers. B.A. Whitton, E. Roth, G. Friedrich. (Eds.). Innsbruck: Institut für Botanik Universität Press, 1991, 196 p.
29. Protasov A., Barinova S., Novoselova T., Sylaiyeva A. The aquatic organisms diversity, community structure, and environmental conditions. *Diversity*, 2019, no. 11 (10), e190, pp. 1–17. doi: 10.3390/d11100190.
30. Barinova S., Smith T. Algae diversity and ecology during a summer assessment of water quality in the Abraham Lincoln Birthplace National Historical Park, USA. *Diversity*, 2019, no. 11 (11), e206, pp. 1–20. doi: 10.3390/d11110206.
31. Mirnenko E.I., Zakharenkova N.S. Tendentsii v vybore vodorosley — indikatorov morskoy sredy [The selection tendencies in the marine environment bioindicator organisms]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona [Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region]*, 2016, no. 3–4, pp. 13–22. (In Russian).
32. Barinova S., Bondarenko A., Ryabushko L., Kapranov S. Microphytobenthos as an indicator of water quality and organic pollution in the western coastal zone of the Sea of Azov. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2019, vol. 48, no. 2, pp. 21–35. doi: 10.1515/ohs-2019-0013.
33. Ryabushko L.I., Lishaev D.N., Kovrigina N.P. Species diversity of epilithon diatoms and the quality of the waters of the Donuzlav Gulf ecosystem (Crimea, the Black Sea). *Diversity*, 2019, no. 11 (7), e114, pp. 1–12. doi: 10.3390/d11070114.
34. Barinova S. Essential and practical bioindication methods and systems for the water quality assessment. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2017, vol. 2, issue 3, e555558, pp. 1–11. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555588.

Поступила 03.02.2020

Принята к печати 05.04.2020