

Водные биоресурсы и среда обитания
2018, том 1, номер 1, с. 39–43
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print



Aquatic Bioresources & Environment
2018, vol. 1, no. 1, pp. 39–43
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print

Биология и экология гидробионтов

УДК 504.4.054

ПРОБЛЕМА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТОКСИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ОРГАНИЗМЫ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

© 2018 С. С. Барина

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

Аннотация. В статье представлен методический подход к интегральной оценке токсического влияния разнообразных токсикантов на фотосинтезирующие организмы. Охарактеризованы токсические соединения, воздействующие на водные организмы в целом и на процесс фотосинтеза белков в частности. В основе расчета нового индекса WESI лежит представление об остаточных концентрациях питательных элементов азота и фосфора в случае подавления токсическими элементами фотосинтетического процесса, а именно активности хлорофилла. Расчет индекса WESI проводится с использованием простой формулы по результатам классифицирования до ранга концентраций нитратного азота или фосфатов и индексов сапробности S. Показана модель проведения экологической классификации по экосистемным представлениям в целях расчета индекса WESI. Даны классификационные таблицы с экологической точки зрения по 9 рангам. Представлено описание разработанного Индекса состояния экосистемы WESI, подробная методика расчета и указаны примеры применения индекса на различных водных объектах Евразии. Показан путь применения индекса WESI в мониторинге и экологическом картографировании, а также критерии его изменения для системы принятия решений при оценке состояния водного объекта и для сохранения разнообразия организмов в условиях токсического воздействия на первичных продуцентов.

Ключевые слова: водная экосистема, водоросли, индекс экологического состояния, токсичность

THE PROBLEM OF INTEGRAL ASSESSMENT OF TOXIC INFLUENCE ON PHOTOSYNTHETIC ORGANISMS IN AQUATIC ECOSYSTEMS

S. S. Barinova

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

Abstract. The article presents a methodical approach to the integral assessment of the toxic effect of various toxicants on photosensitive organisms. The toxic compounds, affecting aquatic organisms in general and the

process of photosynthesis of proteins in particular, are characterized. Calculation of the new index WESI is based on the idea of residual concentrations of nitrogen and phosphorus nutrients in case of suppression of the photosynthetic process by toxic elements, namely, the activity of chlorophyll. Calculation of the index WESI is carried out using a simple formula based on the results of classification to the rank of concentrations of nitrate nitrogen or phosphates and saprobity indices S. A model for conducting an ecological classification from the ecosystem perspective for the purpose of calculating the index WESI is shown. Classification tables are presented for 9 ranks graded from the ecological point of view. A description of the ecosystem status index WESI that has been developed, a detailed procedure for its calculation, and examples of its application to various water bodies of Eurasia are given. The way of application of the index WESI in monitoring and environmental mapping is shown, as well as the criteria for its change for the decision-making system when assessing the state of a water body and for preserving the diversity of aquatic organisms under conditions of toxic effects on primary producers.

Keywords: aquatic ecosystem, algae, ecological status index, toxicity

ВВЕДЕНИЕ

Водная экосистема формируется под воздействием условий и включает две главные составные части — вода, насыщенная в той или иной степени веществами различного класса и концентрации, и организмы, имеющие то или иное разнообразие и обилие и составляющие трофическую пирамиду [1, 2]. Состояние водной экосистемы отражает ее трофический статус, уровень биоразнообразия, способность к фотосинтезу, имеющуюся трофическую базу, а также способность к самоочищению [3]. Наиболее важным звеном, без участия которого не может формироваться трофическая пирамида и экосистема в целом, являются фотосинтезирующие организмы. Водная экосистема может функционировать тогда, когда энергия света может быть включена в производство белков с помощью хлорофилла. Таким образом, все факторы, которые подавляют деятельность хлорофилла в водной экосистеме, являются причиной снижения продуктивности и разнообразия ее организмов.

Природные водные экосистемы являются открытыми и формируются в климатических и ландшафтных условиях, в которых существует водный объект. Однако человек может воздействовать на экосистему водного объекта, не только внося трофические элементы, которые в конечном счете утилизируются организмами, но и токсиканты, ксенобиотики.

Органическое загрязнение в той или иной степени изменяет трофический статус водной экосистемы. Однако ксенобиотики могут не только подавлять развитие ее организмов, но и накапливаться в них.

В общем случае токсиканты могут быть разделены на два главных кластера: 1) токсические высокомолекулярные органические соединения, такие

как пестициды, и 2) токсические металлы, более всего тяжелые металлы. Определить специфику и концентрации каждого из токсикантов обычно не представляется возможным или очень дорого, однако выявить их источники и степень воздействия на водную биоту необходимо. Кроме того, токсиканты имеют и синергический эффект. Следовательно, наиболее продуктивным подходом к выявлению токсического воздействия суммы токсикантов, независимо от их класса и синергизма, является поиск интегральных методов оценки, что и было целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящего исследования послужили данные мониторинговых наблюдений различных водных экосистем Евразии за период более чем 20 лет [1, 4]. Типичным набором показателей мониторинга был видовой состав водорослей, их частота встречаемости, основные показатели среды, такие как pH воды, электропроводность, общий ионный состав, нитратный азот, ортофосфаты [1, 4]. Методы, используемые для выработки интегрального индекса оценки токсичности, — классификация средовых и биологических показателей, перечисленных выше, с экологических позиций [2] и расчет индексов сапробности по формуле Сладчека [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема оценки токсичности некоего набора токсикантов в водных объектах имеет немалую историю и остается актуальной до настоящего времени. Биотестирование широко применимо и стандартизовано, но это отражение реакции суммы токсикантов в воде на конкретный тест-организм,

помещенный в эту среду, а не выживающий в ней и тем более не являющийся частью тестируемой водной экосистемы. Химические и физические методы также помогают оценить суммарное воздействие токсикантов на фотосинтетическую активность и могут быть подразделены на экспериментальные лабораторные и на проводимые на природных популяциях. Разработаны методы оценки ключевых параметров флуоресценции при определении фотохимических реакций водорослей, подвергающихся воздействию токсикантов из окружающей среды (например, токсичных металлов и гербицидов), дающие представление о вероятных причинах изменения фотосинтетических характеристик [5]. Интересно, что публикации по методам и результатам оценки активности хлорофилла по флуоресценции публикуются в журналах химического направления [6, 7], что чаще всего не входит в круг интересов альгологов.

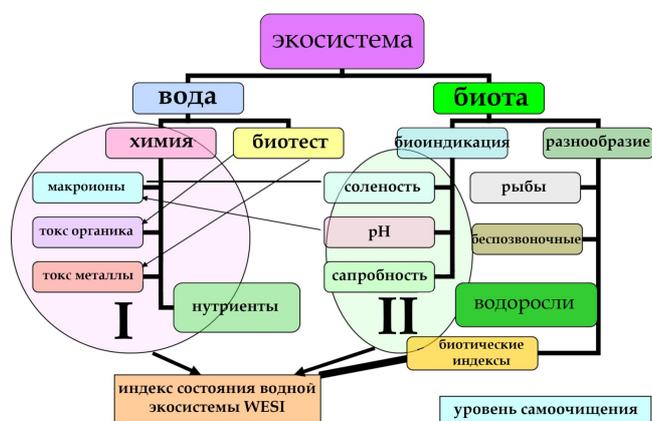
Биохимический способ воздействия, приводящий к нарушению фотосинтеза, зависит от природы химического вещества и характеристик микроорганизма. Наблюдаемые различия в реакции и чувствительности разных видов к одному и тому же токсиканту связаны с несколькими характеристиками водорослей, включая способность фотосинтеза, пигментный тип, клеточный липидный и белковый состав и размер клеток. Существует достаточно много опубликованной информации о многовидовых тестах (сообществах) в лабораторных и полевых исследованиях. Однако оценка риска для фотосинтеза фитопланктона и микрофитобентоса неадекватна, хотя это особенно важно для гидрофобных органических молекул [6]. Поэтому для оценки неблагоприятного воздействия токсикантов на водные микроводоросли, а именно на их фотосинтетическую способность, необходимы дальнейшие исследования [5].

Водные экосистемы в целом как единство воды и обитающих в ней организмов в природных условиях позволяют подойти к оценке фотосинтетической активности как показателю уровня токсического воздействия на первичные продуценты, первое трофическое звено пирамиды, от способности которого к синтезу белков зависит существование более высоких трофических уровней и всей водной экосистемы.

На основе многолетнего и обширного опыта работы на водных объектах Евразии [1, 4] было предположено, что нитратный азот исчерпывается во

всех случаях, когда фотосинтезу не препятствуют негативные воздействия. Следовательно, если нитратный азот остается неиспользованным, то хлорофилл испытывает стресс, вызываемый, в т. ч., токсическими соединениями в воде. Т. е. определение стресса хлорофилла возможно, если все условия для потребления им нитратов есть, но тем не менее нитраты в воде обнаруживаются в существенных количествах.

В результате подхода к оценке фотосинтетической способности продуцентов с экосистемных позиций была выработана схема кластерной классификации показателей (рисунок) [1]. На схеме представлены два блока показателей, которые сгруппированы по отношению данных химического состава (левый кластер I) и биологических параметров (правый кластер II) водной экосистемы [2]. Следует отметить, что кластер II представляет собой биоиндикационные оценки средовых параметров кластера I. По биоиндикационным данным и обилию видов-индикаторов сапробности рассчитывается Индекс сапробности по Сладечку. В систему оценок также включено разнообразие организмов, но на последующих этапах.



Общая схема оценки состояния водной экосистемы и расчета индекса WESI

General scheme for assessing the aquatic ecosystem state and calculating the index WESI

Классификация средовых данных для наших целей приведена в таблице. Выбранные нами показатели (нутриенты), а именно количество нитратного азота (для всех типов водных объектов) и фосфора в ортофосфатах (для водоемов озерного типа), классифицируются не только до класса качества воды, но и до ранга, которых в представляемой системе 9. Индексы сапробности S классифицируются также по таблице до ранга.

Классификация качества воды с экологических позиций для расчета индекса состояния экосистемы WESI
 Classification of water quality for calculating the ecosystem state index WESI from ecological perspective

Класс качества воды Water quality class	Класс Class	Ранг Rank	NO ₃ ⁻ мг N/л mg N/l	PO ₄ ³⁻ мг P/л mg P/l	Индекс сапробности S Saprobity index S	Зоны самоочищения Self-purification zones
I – очень чистые I – very clean	1	1	< 0,05	< 0,005	< 0,5	1
II – чистые II – clean	2	2	0,05–0,20	0,005–0,015	0,5–1,0	2a
II – чистые II – clean	2	3	0,21–0,50	0,016–0,030	1,0–1,5	2b
III – умеренно загрязненные III – moderately polluted	3	4	0,51–1,00	0,031–0,050	1,5–2,0	3a
III – умеренно загрязненные III – moderately polluted	3	5	1,01–1,50	0,051–0,100	2,0–2,5	3b
IV – загрязненные IV – polluted	4	6	1,51–2,00	0,101–0,200	2,5–3,0	4a
IV – загрязненные IV – polluted	4	7	2,01–2,50	0,201–0,300	3,0–3,5	4b
V – сильно загрязненные V – very polluted	5	8	2,51–4,00	0,301–0,600	3,5–4,0	5a
V – сильно загрязненные V – very polluted	5	9	> 4,00	> 0,600	> 4,0	5b

В зависимости от стресса, автотрофные организмы изменяют свои сообщества в более устойчивые, способные к гетеротрофному типу питания. Это отражается на видовом составе и обилии видов в сообществе. Однако если нет возможности включать в процесс синтеза белка биогенные элементы, они остаются в воде неиспользованными. Таким образом, появляется возможность определить уровень стрессового воздействия на водную экосистему путем сравнения индексов сапробности и количества биогенных элементов. Сопоставив номер ранга S и номер ранга нитратов или фосфатов, получаем индекс состояния экосистемы WESI. Интегральный индекс WESI отображает самоочищающую способность водной экосистемы [1] и рассчитывается по формуле:

$$WESI = Rank S / Rank N-NO_3,$$

где *Rank S* — ранг качества воды, определенный по значению индекса сапробности Сладечека (таблица), рассчитанного для станции исследования,

Rank N-NO₃ — ранг качества воды, определенный по концентрации нитратного азота (таблица).

Ранг трофической базы (нутриенты) находится в знаменателе, то есть чем больше неиспользованных трофических элементов, тем меньше способность хлорофилла к фотосинтезу. Если нет препятствий для фотосинтеза, то водоросли «съедают» всю трофическую базу, что особенно хорошо видно на примере озерных экосистем, где в период летней стагнации происходит перестройка сообществ на быстроразвивающиеся планктонные синезеленые и нитраты и/или фосфаты полностью исчерпываются. Таким образом, можно наблюдать эффективную работу экосистемы по самоочищению путем перестройки разнообразия водорослевых комплексов.

Значения индекса WESI изменяются в интервале от 0,1 до 9. При WESI ≥ 1 уровень фотосинтетической активности позитивно коррелирует с уровнем концентрации нитратного азота в воде. При WESI < 1 экосистема подвергается токсическому

воздействию. При нелетальном воздействии токсикантов на хлорофилл происходит замена видов в сообществах водорослей на такие, которые могут питаться также и за счет уже имеющегося в воде органического вещества (миксотрофы и факультативные гетеротрофы).

При условии, что фотосинтез не блокируется токсикантами, уровень самоочищения индивидуален для каждой экосистемы в соответствии с географическим положением водного объекта, концентрацией элементов, влияющих на формирование биоразнообразия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый интегральный индекс WESI на основе химических данных и классификации индексов сапробности отражает интегральный ответ первичного трофического звена водной экосистемы на воздействие токсикантов. Расчет его крайне прост, применимость и информативность подтверждены многолетним опытом на различных водных объектах Евразии. Для более полного представления об экологическом состоянии водного объекта также возможно строить экологические карты по индексу WESI для каждого из изученных бассейнов рек или для озерного типа водоемов [8]. Экологическое картографирование способствует выявлению станций и участков, которые являются проблематичными для каждой реки или водоема в отношении устойчивости их экосистем, воздействия токсикантов, а также активности самоочищения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства алии и интеграции Израиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Diversity of algal indicators in the environmental assessment. Tel Aviv: Pilies Studio, Israel, 2006, 498 p. (In Russian).
2. Barinova S. On the classification of water quality from an ecological point of view. In: *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2017a, vol. 2, no. 2, pp. 1–8. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555581.
3. Barinova S. Essential and practical bioindication methods and systems for the water quality assessment. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2017c, vol. 2, no. 3, pp. 1–11. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555588.
4. 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.
5. Chalifour A., Spear P.A., Boily M.H., DeBlois C., Giroux I., Dassylva N., Juneau P. Assessment of toxic effects of pesticide extracts on different green algal species by using chlorophyll a fluorescence. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 2010, vol. 91, no. 7, pp. 1315–1329. doi: 10.1080/02772240802590293.
6. Fai P.B., Grant A., Reid B. Chlorophyll a fluorescence as a biomarker for rapid toxicity assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2007, vol. 26, no. 7, pp. 1520–1531. doi: 10.1897/06-394R1.1.
7. Petsas A.S., Vagi M.C. Effects on the photosynthetic activity of algae after exposure to various organic and inorganic pollutants: Review. In: *Agricultural and Biological Sciences, Chlorophyll*. Jacob-Lopes E., Zepka L.Q., Queiroz M.I. (Eds.), InTech, 2017, 130 p. doi: 10.5772/67991.
8. Barinova S. Ecological mapping in application to aquatic ecosystems bioindication: problems and methods. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2017b, vol. 3, no. 2, pp. 1–7. doi: 10.19080/IJESNR.2017.03.555608.

Поступила 16.03.2018

Принята к печати 10.04.2018