

УДК 574.4/.5(063)

## МЕТОД ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

С.Н. Оленин, Д. Даунис, Д. Минчин

### Аннотация

Предложенный метод оценки биозагрязнения основан на учете относительной численности инвазионных видов, степени их распространения в оцениваем водоеме (заливе, водохранилище, озере, пруде, море и пр.) и силе их воздействия на аборигенные виды и сообщества, местообитания и функционирование экосистем. Разработаны балльные шкалы, по которым оцениваются качественные изменения в сообществах. Работа иллюстрируется результатами оценки биозагрязнения в Куршском заливе Балтийского моря, описанием инвазионного процесса во времени (на примере инвазии североамериканского гребневика *Mnemiopsis leidyi*) и сравнения роли одного и того же вида в разных водоемах (гребневик *M. leidyi* в Черном, Каспийском и Балтийском морях). В настоящее время ведется работа по созданию компьютерного варианта системы, доступной в сети интернет.

Биологическое загрязнение («биозагрязнение») определяется как «влияние чужеродного инвазионного вида, достаточное для того, чтобы нарушить экологическое качество среды воздействием на индивидуума (внутреннее биологическое загрязнение паразитами и патогенами); популяцию (генетическое изменение, гибридизация); сообщество (структурные изменения); местообитание (модифицирование физико-химических условий) и экосистему (трансформация потоков энергии и вещества)» [1, 2]. Чужеродными видами (экзотическими, неаборигенными, интродуцентами) называют виды, которые преднамеренно или случайно были перенесены за пределы своих естественных ареалов в результате человеческой деятельности [3–5]. Те из них, которые успешно натурализовались, расширяют свой ареал и вызывают экологические и/или экономические проблемы, называются инвазионными видами [3, 4].

В последние десятилетия интерес к изучению биологических инвазий в целом и биозагрязнения в частности постоянно растет. Проблема стала междисциплинарной, охватывающей не только биологические и экологические, но и технические, экономические, юридические, а также и политические аспекты. Неконтролируемый перенос чужеродных организмов приводит к смешению фаун и флор ранее изолированных регионов мира, вызывает серьезные экологические и социо-экономические последствия [6].

Оценка вызываемых инвазионными видами нарушений – задача нетривиальная, поскольку сам характер воздействий очень многообразен. Это и конкуренция с местными видами, количественное доминирование в занятом сообще-

стве, изменение донного субстрата, аккумуляция токсических веществ, перестройка пищевых сетей, хищничество, изменение химического состава воды и т. д. Отсутствие общепринятого подхода затрудняет, часто делает невозможным сравнение последствий биозагрязнения в разных экосистемах, не позволяет сопоставлять разные виды или один и тот же вид в разных регионах по уровню вызванных изменений.

Предложенный метод оценки биозагрязнения [2] основан на учете:

1. относительной численности чужеродного вида и степени его распространения в оцениваемом водоеме (заливе, водохранилище, озере, пруде, море и пр.);
2. силы его воздействия на аборигенные виды и сообщества, местообитания и функционирование экосистем.

Первый параметр устанавливает относительную численность чужеродного вида в занятом сообществе («низкая», «средняя», «высокая») и соотносит ее со степенью распространения вида (занято «одно», «несколько», «много» или «все» местообитания). Матрица «численность – распространение» состоит из 12 возможных комбинаций. Они сведены к пяти классам (А, В, С, D, E) для получения одномерной шкалы, например: А – «низкая численность чужеродного вида в одном или нескольких местообитаниях»; D – «средняя численность во всех местообитаниях или высокая – во многих», E – «высокая численность во всех местообитаниях».

Второй параметр устанавливает степень воздействия чужеродных видов отдельно на аборигенные виды и сообщества, местообитания, а также функционирование экосистем. Разработаны соответствующие балльные шкалы, по которым оцениваются качественные изменения (табл. 1–3).

Описание каждого балла шкалы проиллюстрировано примерами из обширной литературной базы данных, созданной авторами при разработке данного метода [2]. Кроме того, дано определение терминов и понятий, используемых в описании, таких как «ранг в количественной структуре сообщества», «ключевой вид», «качественное изменение местообитания», «ключевое местообитание», «функциональная группа», «экосистемная функция» и т. д.

Следующим шагом в разработке метода оценки биозагрязнения стало совмещение пяти классов одномерной шкалы «Относительная численность – степень распространения» с тремя приведенными выше шкалами воздействия, каждая из которых также разбита на пять классов (табл. 4). Эта матрица состоит из 75 возможных комбинаций, 25 из которых были исключены как крайне маловероятные. Например, маловероятно, что вид, отмеченный в малых количествах в одном или нескольких местообитаниях (ADR класс А), может вызвать вытеснение аборигенных видов (С2 и выше), существенные изменения в физической структуре местообитания (Н2 и выше) или функционировании экосистемы водоема (Е2 и выше). С другой стороны, маловероятно что, чужеродный вид с высокой численностью (т. е. превышающей половину численности занятого сообщества), распространенный по всему водоему (ADR класс D или E), не вызовет изменений в структуре сообщества, не будет влиять на местообитание и не окажет воздействия на функционирование экосистемы.

Табл. 1

Шкала воздействия чужеродных видов на аборигенные виды и сообщества (коды С0 – С4)

| Код | Воздействие   | Описание   |
|-----|---------------|--|
| С0  | Нет           | Чужеродные виды могут присутствовать, но вытеснения аборигенных видов нет, и их ранг в количественной структуре сообщества не изменен. Проникновение вселенца(-ев) увеличило видовое богатство. Характерные сообщества не изменены.  |
| С1  | Слабое        | Отмечено вытеснение аборигенных видов, но нет их исчезновения. Их ранг в количественной структуре сообщества изменен, но доминанты остаются прежними. Характерные сообщества присутствуют.   |
| С2  | Среднее       | Повсеместное вытеснение аборигенных видов, уменьшение их численности и сокращение ареала в водоеме и/или заметное изменение характерных сообществ в результате замещения доминирующих видов.   |
| С3  | Сильное       | Исчезновение популяций аборигенных видов в водоеме. Бывшие доминирующие виды еще присутствуют, но их относительная численность значительно уменьшилась; доминантами сообщества стали чужеродные виды. Исчезновение характерного сообщества в какой-либо экологической группе (например, макрозообентосе, фитопланктоне и пр.). |
| С4  | Очень сильное | Исчезновение популяций ключевых видов. Исчезновение характерных сообществ в более чем одной экологической группе.  |

Табл. 2

Шкала воздействия чужеродных видов на занятые местообитания (коды Н0 – Н4)

| Код | Воздействие   | Описание   |
|-----|---------------|--|
| Н0  | Нет           | Нет изменения местообитания.   |
| Н1  | Слабое        | Качественные изменения местообитания(-ий), без сокращения пространственной протяженности.  |
| Н2  | Среднее       | Качественные изменения местообитания(-ий) и сокращение пространственной протяженности.   |
| Н3  | Сильное       | Существенное сокращение занимаемой площади; потеря одного или нескольких местообитаний в некоторых частях водоема. Изменения ключевых местообитаний. |
| Н4  | Очень сильное | Потеря местообитаний в значительной части водоема, потеря ключевого местообитания.   |

Табл. 3

Шкала воздействия чужеродных видов на занятые местообитания (коды E0 – E4)

| Код | Воздействие   | Описание  |
|-----|---------------|---|
| E0  | Нет           | Нет измеримого эффекта.   |
| E1  | Слабое        | Измеримые, но слабые изменения без потери или добавления новых экосистемных функций   |
| E2  | Среднее       | Умеренные изменения в функционировании экосистемы в результате добавления новых или уменьшение роли существующих функциональных групп в части водоема.              |
| E3  | Сильное       | Существенная перестройка экосистемы в части водоема. Реорганизация пищевой сети в результате добавления или сокращения функциональных групп на трофических уровнях. |
| E4  | Очень сильное | Экстремальные, крупномасштабные сдвиги в пищевой сети и/или потеря аборигенных функциональных групп.  |

Табл. 4

Оценка уровня биоагрязнения (0–4), основанная на учете классов «относительной численности – распространении» (ADR) и силе воздействия чужеродных видов на аборигенные виды и сообщества, местообитания и функционирование экосистем (табл. 1–3); «←» крайне маловероятные ситуации

| ADR | Воздействие на    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |                            |    |    |    |    |
|-----|-------------------|----|----|----|----|---------------|----|----|----|----|----------------------------|----|----|----|----|
|     | виды и сообщества |    |    |    |    | местообитания |    |    |    |    | функционирование экосистем |    |    |    |    |
|     | C0                | C1 | C2 | C3 | C4 | H0            | H1 | H2 | H3 | H4 | E0                         | E1 | E2 | E3 | E4 |
|     | 0                 | 1  | –  | –  | –  | 0             | 1  | –  | –  | –  | 0                          | 1  | –  | –  | –  |
|     | 1                 | 1  | 2  | –  | –  | 1             | 1  | 2  | 3  | –  | 1                          | 1  | 2  | –  | –  |
|     | 1                 | 1  | 2  | –  | –  | 1             | 2  | 2  | 3  | 4  | 1                          | 2  | 2  | –  | –  |
|     | –                 | 2  | 2  | 3  | 4  | –             | 2  | 3  | 3  | 4  | –                          | 2  | 2  | 3  | 4  |
|     | –                 | –  | 3  | 3  | 4  | –             | 2  | 3  | 3  | 4  | –                          | 2  | 3  | 3  | 4  |

Далее был разработан алгоритм, позволяющий пользователям описывать разнородные ситуации в стандартных терминах «индекса биоагрязнения». Суть его состоит в том, что сначала определяется относительная численность чужеродного вида и степень его распространения в водоеме, затем оценивается уровень его воздействия на сообщества, местообитание и экосистему. По приведенной в табл. 4 шкале определяется уровень биоагрязнения.

Работа иллюстрируется результатами оценки биоагрязнения в Куршском заливе Балтийского моря, описанием инвазионного процесса во времени (на примере инвазии североамериканского гребневика *Mnemiopsis leidyi*) и сравнения роли одного и того же вида в разных водоемах (гребневик *M. leidyi* в Черном, Каспийском и Балтийском морях). В настоящее время ведется работа по созданию компьютерного варианта системы, доступной в сети интернет.

### Summary

*S.N. Olenin, D. Daunys, D. Minchin.* Method for assessment of biological pollution in aquatic ecosystems.

The abundance and distribution of alien species together with their influence on communities, habitats and ecosystems are used to create an index of biological pollution (biopollution) for aquatic ecosystems. The method can be used to evaluate impact at five different levels of biopollution. The scheme developed enables both spatial and temporal comparisons. The method was tested using data from the Curonian Lagoon, Baltic Sea and the invasion of the North American comb jelly *Mnemiopsis leidyi* in the Black, Caspian and Baltic Seas. Presently an online version of the biopollution assessment system is being developed.

### Литература

1. *Elliott M.* Biological pollutants and biological pollution – an increasing cause for concern // *Marine Pollution Bulletin.* – 2003. – V. 46. – P. 275–280.
2. *Olenin S., Minchin D., Daunys D.* Assessment of biopollution in aquatic ecosystems // *Marine pollution bulletin.* – 2007. – V. 55, No 7–9. – P. 379–394.
3. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. – М.-СПб.: Товарищество научн. изданий КМК, 2004. – 436 с.
4. *Occhipinti-Ambrogi A., Galil B.S.* A uniform terminology on bioinvasions: a chimera or an operative tool? // *Marine Pollution Bulletin.* – 2004. – V. 49. – P. 688–694.
5. *Colautti R.I., MacIsaac H.J.* A neutral terminology to define 'invasive' species // *Diversity and Distributions.* – 2004. – V. 10, No 2. – P. 135–141.
6. *Invasive aquatic species of Europe – distribution, impact and management.* – Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 583 p.

Поступила в редакцию  
22.06.07

---

**Оленин Сергей Николаевич** – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Клайпедского университета, Литва.

E-mail: [sergej@corpi.ku.lt](mailto:sergej@corpi.ku.lt)

**Даунис Дарюс** – доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник Клайпедского университета, Литва.

E-mail address: [darius@corpi.ku.lt](mailto:darius@corpi.ku.lt)

**Минчин Дэн** – доктор, владелец консультационной компании, Ирландия.

E-mail: [minchin@indigo.ie](mailto:minchin@indigo.ie)