

*В.В. Дроздов, А.В. Косенко, Н.П. Смирнов*

**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ  
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ К ТРАНСГРАНИЧНОМУ БИОЛОГИЧЕСКОМУ  
ЗАГРЯЗНЕНИЮ**

*V.V. Drozdov, A.V. Kosenko, N.A. Smirnov*

**DEVELOPMENT OF PRINCIPLES FOR THE EVALUATION OF THE  
SUSTAINABILITY OF THE ECOSYSTEM OF THE BALTIC SEA BY  
TRANSBOUNDARY BIOLOGICAL POLLUTION**

*Рассмотрены экологические следствия проникновения в экосистему Балтийского моря чужеродных видов вместе с балластными водами судов. Обоснована актуальность и практическая значимость оценки устойчивости морской экосистемы к биологическому трансграничному загрязнению. Выполнено обоснование и разработка показателей биологической загрязненности, учитываемых при оценке устойчивости экосистем.*

*Ключевые слова: трансграничное биологическое загрязнение, Балтийское море, показатели биологического загрязнения, устойчивость экосистем.*

*Considered environmental investigation penetration in the ecosystem of the Baltic sea alien species with ballast water of ships. Actuality and practical importance of the assessment of the sustainability of marine ecosystems to biological transboundary pollution. The explanation and the development of indicators of biological pollution, are considered when assessing the sustainability of ecosystems.*

*Key words: transboundary biological pollution of the Baltic sea, indicators of biological pollution, ecosystem sustainability.*

Перенос чужеродных морских организмов в новые для них природные условия с балластными водами судов и на их внешней обшивке, является одной из наиболее существенных угроз для биоценозов Мирового океана [1, 3, 4, 5, 6]. Оказавшись в новой среде, где нет обычных для них паразитов и хищников, чужеродные виды часто размножаются в огромных количествах. В результате конкуренции или выедания они могут подавлять или полностью вытеснять местные виды, что приводит к упрощению структуры сообщества и снижению его устойчивости к внешним воздействиям. Вселение чужеродных видов может способствовать ухудшению качества воды, распространению паразитов и болезней, в том числе опасных для человека [11, 12, 13, 14, 16, 17]. Танкеры, газовозы, контейнеровозы и другие торговые суда осуществляют более 80 % всех мировых перевозок сырья и оборудования, в процессе которых ежегодно, кроме коммерческих грузов, перемещается также до 10 млрд т водяного балласта. Водные массы водяного балласта, обеспечивая остойчивость современных морских судов и тем самым безопасность мореплавания, в тоже время представляют опасность в качестве среды жизнедеятельности и транспортировки различных вредоносных и

нежелательных организмов, проникающих в балластные танки через отверстия приемных кингстонов.

Для устойчивого развития морехозяйственного комплекса России, который в последние годы демонстрирует увеличение своих производственных мощностей, данная проблема является весьма актуальной, в особенности применительно для морей Северо-Западного региона России – Балтийского, Белого и Баренцева, через которые в настоящее время проходят одни из крупнейших в стране транспортных магистралей, обеспечивающих работу нефтегазовой отрасли и экспорт углеводородов [1, 3, 6, 7, 11, 16, 17]. В Балтийском море уже к середине XX в. появилось 14 новых видов, а к 1963 г. – 20. В начале XX в. общее количество чужеродных видов-вселенцев в Балтике, успешно прошедших акклиматизации оценивается в количестве 105 видов. Во многих случаях быстрое распространение вселенцев объясняется наличием у многих из них в жизненном цикле свободно плавающей планктонной личинки [11, 14, 16, 17].

Дипломатическая конференция, проходившая с 9 по 13 февраля 2004 г. приняла международную конвенцию по Контролю и управлению за корабельными балластными водами и отложениями [9, 10, 15]. Это новая международная конвенция принята с целью предотвращения потенциально разрушительных эффектов распространения вредных водных организмов, переносимых балластными водами судна. Конвенция будет введена в действие через 12 месяцев после подписания ее 30 государствами, которые перевозят 35 % мировых торговых грузов морским путем. 28 марта 2012 г. Россия присоединилась к данной Конвенции, что предполагает в скором времени обязательное внедрение на суда систем обезвреживания балластных вод.

Целью работы является разработка методологических принципов и показателей, способствующих оценке степени устойчивости экосистемы Балтийского моря к биологическому загрязнению при трансграничном распространении чужеродных видов с балластными водами судов, в целях координации действий по защите морской среды от трансграничного биологического загрязнения.

Устойчивость экосистемы – это способность отдельных ее частей противостоять колебаниям внешних факторов и сохранять свою структуру и функциональные особенности. Выделяют два основных типа устойчивости экосистем. *Резистентная* устойчивость – это способность экосистемы сопротивляться внешним воздействиям, поддерживая длительное время неизменной свою структуру и функции. *Упругая* устойчивость – это способность системы восстанавливаться после того, как ее структура и функция были нарушены под влиянием изменений, превосходящих норму. Как правило, при благоприятных физических условиях среды экосистемы в большей степени проявляют резистентную устойчивость, а не упругую, но в изменчивых физических условиях наблюдается преобладание упругой устойчивости. Устойчивость биотической компоненты экосистемы (биоценоза) обычно достаточно высокая, если большинство организмов способны нормально функционировать в широком диапазоне значений физических и химических параметров окружающей среды, т.е. преобладающая часть биоты является *эврибионтами*. Если же биоценоз может существовать в весьма ограниченном диапазоне значений параметров окружающей среды, т.е. большинство его представителей являются *стенобионтами*, или многие виды незаменимы в своих функциях, такое сообщество оказывается в большинстве случаев неустойчивым, или *динамически хрупким* [2, 3, 7].

Таким образом, для решения проблемы оценки устойчивости экосистем Балтийского моря к биологическому трансграничному загрязнению, необходим комплексный анализ влияния основных климатообразующих процессов, параметров океанологического и гидрологического режимов, видового состава и структуры биологических сообществ и связей между ними. На рис. 1 представлена структурная схема (алгоритм) оценки устойчивости экосистем Балтики.

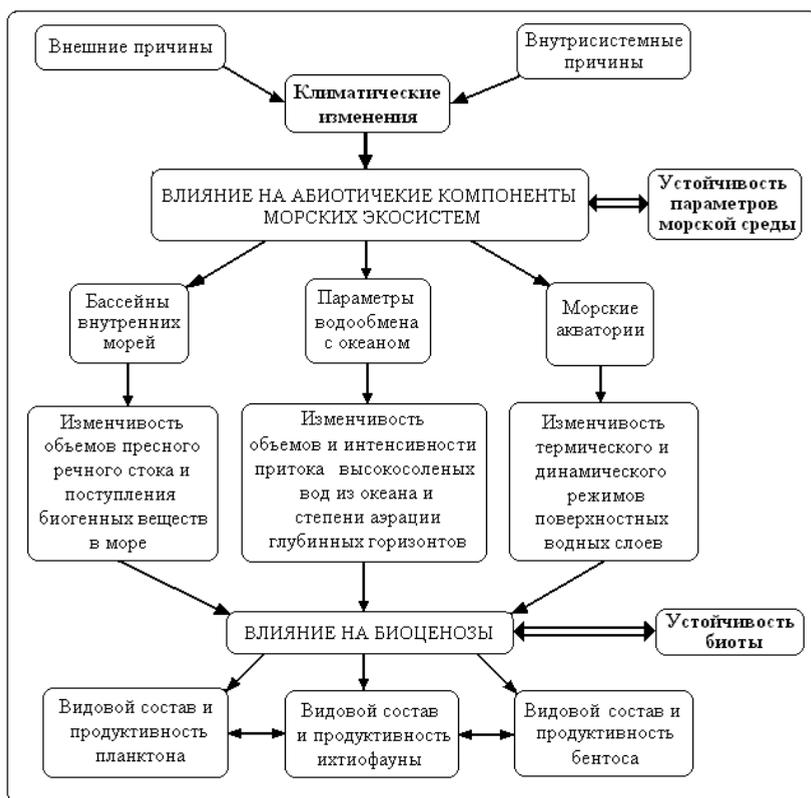


Рис. 1. Структурная схема связей между природными процессами и характеристиками, которые необходимо учитывать при оценке устойчивости экосистем Балтийского моря.

Основой устойчивости биотической компоненты экосистемы является ее биологическое разнообразие. Более сложные, более разнообразные экосистемы являются и более устойчивыми. Структурные изменения видового разнообразия (биоразнообразия) акваторий происходят за счет трансформации потоков вещества и энергии [4, 7]. Поэтому функциональная устойчивость морских акваторий к биологическому загрязнению определяется как способность системы противостоять внешнему воздействию, сохраняя свои свойства. Определение устойчивости морских акваторий к биологическому загрязнению предусматривает следующую последовательность действий:

- сбор и анализ биологического материала с целью определения относительной численности чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории;
- анализ степени распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте путем обращения к международным [12, 17] и региональным [11, 14] базам данных, разработанным для региона Балтийского моря;
- характер воздействия чужеродного вида на местные (аборигенные виды) и сообщества;
- определение устойчивости акватории к биологическому загрязнению посредством комплексной оценки ее физико-химических и гидрологических параметров, а также всех возможных абиотических характеристик.

В табл. 1, 2 и 3 представлены разработанные авторами статьи характеристики показателей биологического загрязнения морских акваторий – относительное количество особей чужеродного многоклеточного вида среди представителей той же таксономической категории ( $N$ ); степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте ( $D$ ); степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества ( $I$ ). На рис. 2 представлены значения показателя биологической загрязненности  $N$  в акваториях Балтийского моря.

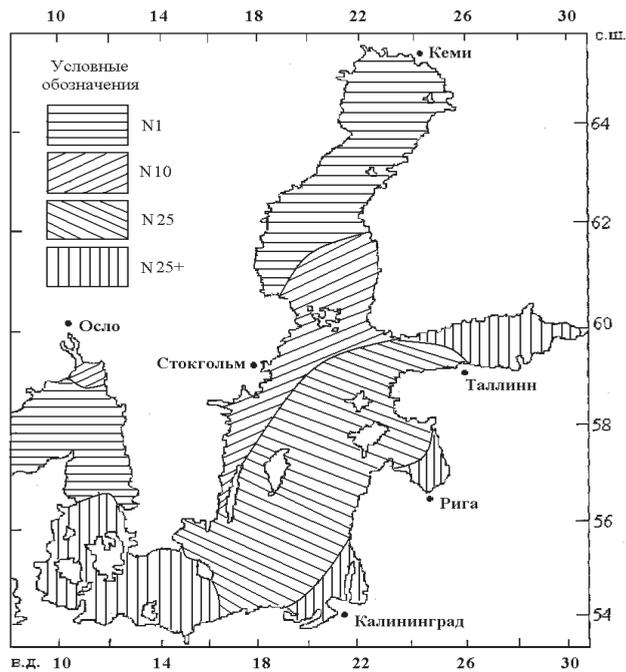


Рис. 2. Значения показателя биологической загрязненности  $N$  (относительная численность чужеродных многоклеточных видов среди представителей той же таксономической категории) в Балтийском море  $N1$  – очень низкое;  $N10$  – низкое;  $N30$  – умеренная;  $N30+$  – высокая.

Таблица 1

**Определение значений показателя биологического загрязнения *N* и оценка функционального состояния водного биоценоза**

Параметр биологического загрязнения <i>N</i>	Код	Характеристика	Воздействие	Оценка
Относительное количество особей чужеродного многоклеточного вида среди представителей той же таксономической категории (моллюски, ракообразные, водоросли и др.).	<i>N1</i>	Количество особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 1 % от суммы особей всех видов данного таксона.	Чужеродный вид обнаруживается редко и единично, самовоспроизводящиеся популяции, как правило, не сформированы.	Очень низкая
	<i>N10</i>	Численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 10 % от суммы особей всех видов данного таксона.	Чужеродный вид проходит акклиматизацию и формирует самовоспроизводящиеся популяции с низкой численностью особей.	Низкая
	<i>N30</i>	Численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 30 % от суммы особей всех видов данного таксона.	Чужеродный вид успешно завершил акклиматизацию и формирует самовоспроизводящиеся популяции с умеренной численностью особей.	Умеренная
	<i>N&gt;30</i>	Численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии превосходит 30 % от суммы особей всех видов данного таксона.	Чужеродный вид в процессе конкурентной борьбы становится доминирующим среди видов данного таксона и формирует самовоспроизводящиеся популяции с высокой численностью особей.	Высокая

Таблица 2

**Определение значений показателя биологического загрязнения *D* и оценка влияния чужеродных видов на состояния водного биоценоза**

Параметр биологического загрязнения <i>D</i>	Код	Характеристика	Воздействие	Оценка
Степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте.	<i>D1</i>	Зняты единичные местообитания (до 1 % от общей площади водного биоценоза).	Чужеродные виды присутствуют, но встречаются только локально (районы сброса балластных вод или районы с самыми благоприятными условиями среды).	Вид очень слабо распространен

Параметр биологического загрязнения <i>D</i>	Код	Характеристика	Воздействие	Оценка
	<i>D10</i>	Заняты несколько местообитаний (до 10 % от общей площади водного биоценоза).	Чужеродный вид проходит акклиматизацию и начинает постепенно расширять свой ареал.	Вид слабо распространен
	<i>D30</i>	Заняты много местообитаний (до 30 % от общей площади водного биоценоза).	Чужеродный вид успешно завершил акклиматизацию и формирует самовоспроизводящиеся популяции в районах, отличающихся от оптимальных по параметрам среды.	Вид умеренно распространен
	<i>D&gt;30</i>	Заняты очень много местообитаний (более 30 % от общей площади водного биоценоза).	Чужеродный вид эффективно адаптировался к различным условиям среды обитания, побеждает в процессе конкурентной борьбы с местными видами, формирует высокоурожайные самовоспроизводящиеся популяции.	Вид сильно распространен

Таблица 3

**Определение значений показателя биологического загрязнения *M*  
и оценка функционального состояния водного биоценоза**

Параметр биологического загрязнения <i>M</i>	Код	Характеристика	Воздействие	Оценка
Степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества.	<i>M5</i>	Конкурентная борьба с местными видами за пространство и пищевые ресурсы наблюдается не более чем на 5 % акватории.	Чужеродные не практически конкурируют с местными видами сообщества. Вытеснения местных видов не происходит, структура сообществ не изменена.	Влияние не существенно
	<i>M15</i>	Конкурентная борьба с местными видами за пространство и пищевые ресурсы наблюдается не более чем на 15 % акватории.	Чужеродные виды составляют заметную конкуренцию местным видам. Происходит редкое вытеснение отдельных местных видов, но без их полного исчезновения, начинается изменение структуры сообществ.	Влияние существенно

Параметр биологического загрязнения $M$	Код	Характеристика	Воздействие	Оценка
	$M \leq 30$	Конкуренция с местными видами за пространство и пищевые ресурсы наблюдается не более чем на 30 % акватории.	Чужеродные виды вступают в активную конкурентную борьбу с местными видами. Происходит вытеснение значительного количества местных видов, исчезновение некоторых из них, структура местных сообществ преобразована.	Влияние значительно
	$M > 30$	Конкуренция с местными видами за пространство и пищевые ресурсы и наблюдается более чем на 30 % акватории.	Чужеродные виды становятся доминирующими, происходит исчезновение многих местных видов. Структура сообществ значительно изменена.	Влияние весьма значительно

Определение первого показателя биологического загрязнения ( $N$ ) «относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории» производится путем определения *частоты встречаемости* вида. Для оценки численности интродуцентов относительно численности других групп организмов той же таксономической категории правомерно использовать *индекс доминирования Симпсона*.

Согласно таблице если значение « $N$ » равно или превышает 10 %, то чужеродный вид оценивается как способный к быстрому воспроизводству в новых условиях. Определение второго показателя биологического загрязнения ( $D$ ) «степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте» возможно производить с использованием баз данных. Определение третьего показателя биологического загрязнения ( $I$ ) «Характер воздействия чужеродного вида на местные (аборигенные виды) и сообщества» может производиться с использованием показателей *видовой плотности* и индексов видового богатства Маргалефа и Менхиника [7]. Кроме того, данный показатель биологического загрязнения возможно оценить по воздействию чужеродного вида на характерные кормовые объекты типичных местных видов. Если спектр питания интродуцированного вида во многом или полностью совпадает со спектрами питания местных доминирующих видов, то в случае успеха его акклиматизации и формирования многочисленных самовоспроизводящихся популяций, интродуцированный вид (или виды), может подорвать кормовую базу местных видов, в том числе обладающих экономической ценностью.

Итоговое определение устойчивости акваторий к биологическому загрязнению должно производиться комплексно, на основе бальных критериев, с использованием данных о первых трех показателях биологического загрязнения, а также данных отражающих степень устойчивости важнейших абиотических параметров морской среды, определяющим образом влияющих на способность акклиматизации и натурализации чужеродных видов. Таковыми параметрами морской среды, в условиях Балтийского моря, являются, прежде всего соленость воды, концентрация растворенного кислорода

в придонных горизонтах, а также содержание в воде кальция, необходимого для оптимального развития чужеродных моллюсков и ракообразных.

Несомненными достоинствами алгоритма действий являются: во-первых, обращение к базам данных, исключающее трудоемкие расчеты индексов видового сходства сообществ; и, во-вторых, переход от оценки степени загрязненности акватории отдельными биологическими объектами к выводам о ее функциональной устойчивости на заключительном этапе.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.1. Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (соглашение о гранте № 14.В37.21.0651 – 2012 г.) коллективом Научно-образовательного центра «Мониторинг и прогнозирование экологического состояния окружающей среды» факультета Экологии и Физики природной среды РГГМУ.

### Литература

1. Виды-вселенцы в европейских морях России. / Отв. ред. Матишов Г.Г. — Апатиты: КНЦ РАН, 2000. — 312 с.
2. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. СПбГУ-РГГМУ. — СПб.: изд-во «Наука», 2004. — 294 с.
3. *Дроздов В.В.* Многолетняя динамика компонентов экосистемы Невской губы под влиянием природных факторов и гидростроительства. // Экология и промышленность России, 2010, № 4, с. 68–75.
4. *Дроздов В.В.* Общая экология. Учебное пособие для вузов. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2011. — 412 с.
5. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Фрумин Г.Т., Косенко А.В.* Влияние климатообразующих процессов на океанологический режим Балтийского моря и экологические условия, необходимые для распространения чужеродных видов перемещающихся с балластными водами судов. // Журнал Общество. Среда. Развитие, 2012, № 4, с. 45–58.
6. *Дроздов В.В., Фрумин Г.Т., Косенко А.В., Боев А.С.* Разработка и анализ показателей трансграничного биологического загрязнения балластными водами судов экосистемы Балтийского моря. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 64–77.
7. *Зилов Е.А.* Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем). Учебное пособие. — Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. — 147 с.
8. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 239 с.
9. Руководство по применению требований «Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года» Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2009.
10. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 г. — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. — 120 с.
11. Baltic Sea Alien Species Database (BMB WG on Non-indigenous Estuarine. and Marine Organisms; CORPI Klaipeda University, Lithuania). Режим доступа: [<http://www.ku.lt/lisd/team.html>].
12. Global Invasive Species Programme (GISP), 1999. Режим доступа: [<http://jasper.stanford.edu/gisp>].
13. *Gollasch S., Leppakoski E.* Initial Risk Assessment of Alien Species in Nordic Coastal Waters. // Nordic Council of Ministers. Nord, 1999: 8, pp. 65–124.
14. HELCOM. Baltic Marine Environment Protection Commission — Helsinki Commission 1998. Guidelines for the Baltic Monitoring Programme for the third stage; Part D. Biological Determinands, 27 D, 161 pp.
15. IMO (2004) International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. International Maritime Organization. <http://www.imo.org> (Accessed on 1 November 2004).
16. *Leppakoski E., Gollasch S., Gruszka P. et al.* The Baltic — a sea of invaders. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2002, vol. 59, pp. 1175–1188.
17. NOBANIS European Network on Invasive Alien Species. Gateway to information on invasive alien species in North and Central Europe. Режим доступа: [<http://www.nobanis.org>].