

V.V. Drozdov, G.T. Frumin, A.V. Kosenko, A.C. Boev

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРАНСГРАНИЧНОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
БАЛЛАСТНЫМИ ВОДАМИ СУДОВ ЭКОСИСТЕМЫ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

V.V. Drozdov, G.T. Frumin, A.V. Kosenko, A.C. Boev

**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF INDICATORS OF CROSS-
BORDER OF BIOLOGICAL POLLUTION OF THE BALLAST
WATERS OF SHIPS OF THE BALTIC SEA ECOSYSTEM**

Рассмотрены особенности трансграничного биологического загрязнения балластными водами крупнотоннажных судов морских экосистем. Выполнен анализ направлений расселения и форм негативного воздействия чужеродных видов, проникающих в морские экосистемы Европы. Разработаны и проанализированы показатели трансграничного биологического загрязнения для экосистемы Балтийского моря на основе комплексной характеристики чужеродного вида: относительной его численности среди представителей той же таксономической категории; степени распространения в конкретной водной акватории; способности к быстрому воспроизводству в новых условиях; степени и характере воздействия на местные сообщества; степени и характере видоизменения местообитания и влияние на функционирование морской экосистемы в целом. Установлены районы Балтийского моря, в наибольшей степени подверженные биологическому загрязнению в настоящее время и в ближайшем будущем.

Ключевые слова: Балтийское море, биологическое загрязнение, балластные воды крупнотоннажных судов, чужеродные виды.

Considered are the peculiarities of cross-border biological pollution of the ballast water of large-tonnage vessels. The analysis of directions of the settlement and forms of the negative effects of alien species entering the marine ecosystems of Europe. Developed of indicators transboundary biological pollution to the Baltic sea ecosystem on the basis of the integrated characteristics of an alien species – a relative of the population among the representatives of the same taxonomic category; the degree of distributions in a particular water area; the ability to rapid reproduction in the new conditions; the extent and nature of the impact on the local community; the extent and nature of the transformation and impact on the functioning of the marine ecosystem as a whole. Established areas of the Baltic sea in the most vulnerable to biological contamination in the present and in the near future.

Key words: the Baltic sea, biological pollution, ballast water of large-tonnage vessels, alien species.

Введение

Биологическое загрязнение определяется как влияние чужеродного инвазивного вида, достаточное для того, чтобы нарушить экологическое качество среды воздействием на индивидуум, которое проявляется через внутреннее биологическое загрязнение паразитами и болезнетворными микробами; популяцию через генетические изменения и гибридизацию; сообщество, вызывая в нем структурные изменения видового разнообразия; местообитание в процессе влияния на изменение физико-химических условий существования и экосистему в целом за счет трансформации потоков вещества и энергии [2, 4, 5, 17, 26, 27, 29, 30]. Чужеродные виды, которые преднамеренно или случайно были перенесены за пределы своих естественных ареалов в результате человеческой деятельности и успешно прошли стадии акклиматизации и натурализации, расширяют таким образом свой ареал и способны вызвать экологические и/или экономические проблемы. Перемещение чужеродных морских организмов в новые для них природные условия с балластными водами судов, в том числе транспортирующих нефть и газ. Глобальный экологический фонд (ГЭФ) определил в качестве одной из четырех наиболее существенных угроз для Мирового океана. Чужеродные водные организмы вызывают токсичное цветение воды из-за массового развития водорослей, интенсивное обрастание и коррозию гидротехнических и водозаборных сооружений, распространение паразитирующих и болезнетворных организмов (в том числе возбудителей эпидемий и эпизоотий), иногда полное опустошение рыбохозяйственных запасов. Только за последние несколько десятилетий зарегистрировано около 70 крупных случаев переноса экзотических водных организмов в результате судоходства. Интенсивность вселения чужеродных организмов в различные районы Мирового океана за последние 200 лет характеризуется следующей динамикой: прибрежная зона и эстуарии Атлантического и Тихоокеанского побережья Северной Америки – 298 видов, Средиземное море – 240 видов, прибрежная зона Австралии – 210 видов, Балтийское море – 105 видов, Черное море – 75 видов [1, 6, 18, 19, 30, 31, 33, 35]. Значительные масштабы межрегионального переноса чужеродных видов с балластными водами крупнотоннажных судов и существенный экономический ущерб, которые способны приносить интродуцированные виды в новых для них экосистемах, требует искать эффективные методы противодействия.

Дипломатическая конференция, проходившая с 9 по 13 февраля 2004 г., приняла международную конвенцию по Контролю и управлению за корабельными балластными водами и отложениями. Это новая международная конвенция принята с целью предотвращения потенциально разрушительных эффектов распространения вредных водных организмов, переносимых балластными водами судна. Конвенция требует, чтобы все суда составляли и следовали Плану управления балластными водами и отложениями. Конвенция будет введена в действие через 12 месяцев после подписания ее 30 государствами, которые перевозят 35 % мировых торговых грузов. Предполагается, что в регионах, где

объемы перевозки балластных вод составляют от 3 до 5 млрд т в год, деятельность чужеродных морских видов, которые выпускаются в новую среду обитания, может привести к экологической катастрофе [32, 34].

Целью работы является разработка эффективных показателей биологической загрязненности морской среды балластными водами крупнотоннажных судов на примере Балтийского моря как одной из наиболее подверженных влиянию чужеродных организмов водных экосистем Мира.

Направления расселения и формы негативного воздействия чужеродных видов, проникающих в моря Европы

Вселение новых видов в экологические системы – широко распространенный естественный процесс, происходивший во все геологические эпохи существования жизни. Однако благодаря глобализации хозяйственной деятельности человека он стал происходить более интенсивно. Особенно заметными эти воздействия стали со второй половины XX столетия, когда расширения ареалов и проникновение живых организмов в новые сообщества происходили на фоне общих климатических и антропогенных изменений. Способы и направления расселения чужеродных (инвазивных) видов подразделяются на естественные и антропогенные. Естественные обеспечивают самопроизвольное распространение популяций чужеродных видов, приводящее к относительно медленному, постепенному освоению ими биотопов внутри уже колонизированных водоемов или проникновению из одного водоема в другой, при наличии между ними непосредственной связи. К антропогенным способам и направлениям расселения относится человеческая активность, связанная с перемещением воды (например, балластных вод, содержащих планктон, включая пелагические личиночные стадии донных гидробионтов) или погруженных объектов (с прикрепленными к ним взрослыми особями или молодью организмов – обрастателей) внутри или между бассейнами. Влияние морехозяйственной деятельности во много раз ускоряет процесс расселения видов по планете, в том числе и способных оказывать негативное воздействие на местные биоценозы, системы технического и питьевого водоснабжения, здоровье людей. В отличие от большинства загрязняющих веществ антропогенного происхождения, которые в природных экосистемах в ходе процессов самоочищения обычно разрушаются и поддаются эффективному контролю со стороны человека, успешно вселившиеся чуждые организмы могут размножаться и распространяться в окружающей среде часто с непредсказуемыми и необратимыми последствиями.

В качестве ярких примеров могут быть названы проникновение в начале 1990-х гг. с балластными водами судов, транспортирующих нефть, и расселение американского гребневика мнемипсиса (*Mnemiopsis leidyi*) сначала в Черное, Азовское, Каспийское, а затем и в Балтийское море по Волго-Балтийскому водному пути, а также распространение во многом с балластными водами крупнотоннажных судов понто-каспийского моллюска дрейссены (*Dreissena poly-*

morpha) в регион Балтийского моря и в Великие Североамериканские озера [2, 6, 15, 29, 33]. В обоих случаях экономический ущерб от влияния данных чужеродных видов на местные экосистемы оценивается сотнями миллионов долларов в год. Нерегулируемый сброс балластных вод в Балтийское море также привел к вселению в него более 100 чужеродных видов, значительная часть которых занесена судами из бассейнов Каспийского, Черного, Азовского морей и Северной Америки. Всего же в морях Северо-Запада России насчитывается не менее 120 видов-вселенцев из различных районов Мирового океана, но в наибольшей степени биологическому загрязнению подвержено Балтийское море. При этом особое в этом отношении положение Балтики объясняется тем, что на его берегах находится наибольшее количество морских и речных портов – более 150. Одним из основных регионов-доноров биологических инвазий в восточную часть Финского залива можно считать Понто-Каспийский регион. Так, 42 % видов-вселенцев Балтийского моря и 50 % чужеродных видов в восточной части Финского залива имеют понто-каспийское происхождение [29, 30, 35]. Вероятность их заноса непосредственно из Северного Каспия и Волги по Волго-Балтийскому пути достаточно велика. На рис. 1 представлены основные направления распространения чужеродных видов в морях Европы.

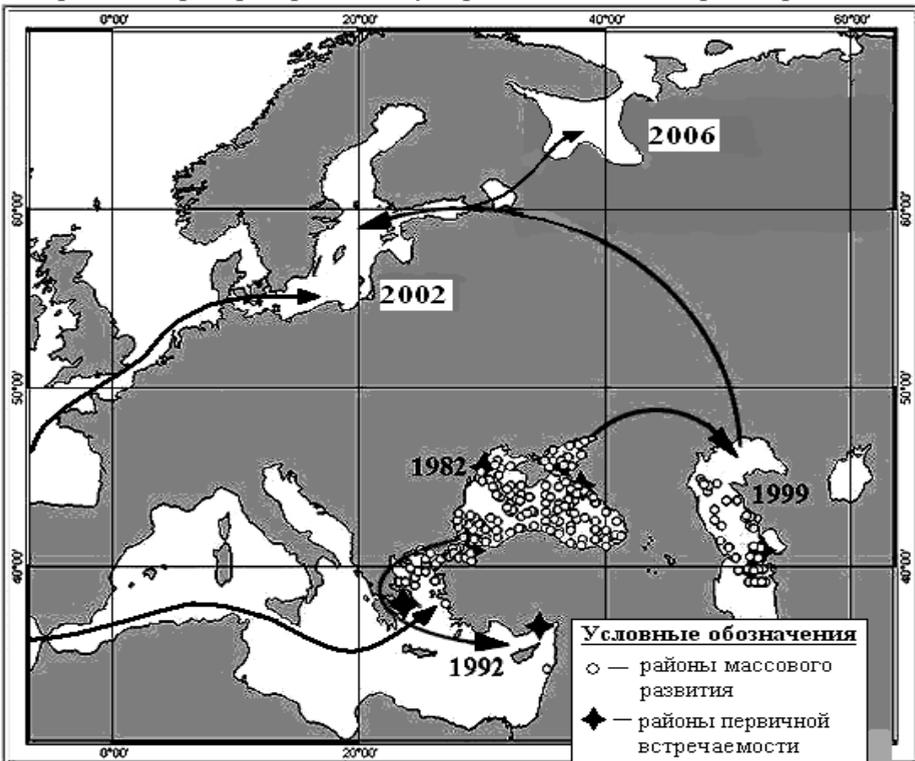


Рис. 1. Основные направления распространения чужеродных видов в морях Европы. Указаны даты первичной встречаемости организмов *Cercopagis pengoi* и *Mnemiopsis leidyi*

В целом, представляются очевидными следующие формы негативного воздействия чужеродных инвазивных видов на местные виды и их разнообразие.

– инвазийные виды могут существенно изменить среду обитания аборигенных видов (особенно в случаях, когда инвазийные виды являются «ключевыми видами» сообщества) путем изменения структуры и функции экосистемы;

– инвазийные виды могут стать конкурентами аборигенных видов и способствовать их вытеснению;

– инвазийные виды могут стать хищниками по отношению к аборигенным видам и также способствовать их вытеснению;

– инвазийные виды могут являться переносчиками возбудителей заболеваний аборигенных видов или сами вызывать их заболевания.

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. Экономические потери от вселения некоторых инвазивных чужеродных видов в ряде случаев могут исчисляться сотнями миллионов долларов в год [3, 17]. Вселение чужеродных видов негативно влияет на биологическое разнообразие, структуру и функционирование водных экосистем, а патогенные организмы и токсические виды водорослей представляют собой прямую угрозу здоровью человека. В особенности эта проблема актуальна для России и для Северо-Западного региона в частности, по причине наличия многочисленных гидросооружений, широкой сетью водных коммуникаций, большими внутренними водоемами. Все это способствует более свободному обмену фауной и флорой между различными, прежде изолированными водными системами. В настоящее время проблема проникновения чужеродных видов на территорию России является важнейшим аспектом обеспечения экологической безопасности страны, так как балластными водами судов могут перемещаться и патогенные для человека организмы, в том числе и такие опасные, как холерный вибрион *Vibrio cholerae* [32, 33].

Согласно Международной конвенции по Контролю и управлению корабельными балластными водами и отложениями [32], наиболее нежелательными видами, способными распространяться с балластными водами судов, применительно к Европейскому региону являются следующие: хищный планктонный рачок *Cercopagis pengoi*, китайский мохнаторукий краб *Eiocheir sinensis*, зеленый европейский краб *Carcinus maenus*, двустворчатый моллюск *Dreissena polymorhia*, гребневик *Mnemiopsis leidy*, токсичные водоросли, среди которых некоторые красные, коричневые и сине-зеленые группы видов.

Предполагают, что китайский мохнорукий краб был случайно завезен в Европу с балластными водами судов. В 1912 г. он был обнаружен в эстуариях не-

которых рек Германии. Отсюда он начал быстро распространяться, проник в эстуарные районы Северного моря и широко распространился в Балтийском море. С 1970-х гг. данный вид в значительном количестве начал встречаться в реках Тайн и Темза, к 1990-х гг. достиг Великих американских озер, а в начале XX в. – Калифорнии. В Черном и Азовском морях первое появление китайского мохнорукого краба было отмечено в 1998 г. [33]. В Волге он уничтожает прибрежную флору и фауну, разрушает берега и угрожает прибрежным коммуникациям с начала 2000-х гг. Единичные экземпляры обнаружены и в Белом море, в устье Северной Двины. Китайский краб очень плодовит. Взрослая самка в состоянии отложить до 1 млн икринок [4].

Моллюск дрейссена полиморфная в настоящее время распространен в пресных и солоновато-водных районах Азово-Черноморского, Каспийского и Аральского бассейнов, далее расселилась по всей Западной и Северной Европе, включая Ирландию и Балтийское море, западной части Северной Америки. Обычна в опресненных участках Азовского и Черного морей: Таганрогский залив, лиманы северо-западной части Черного моря. Обитает также в Днепровско-Бугском лимане, Южном Буге, недавно расселился по водохранилищам Днепра. Образует плотные колонии на различных твердые поверхностях, в том числе в трубах систем технического водоснабжения. Вытесняет местные виды. Изменяет условия обитания, систему цепей питания местных видов. Может повлиять на местную рыболовную промышленность [1, 2, 3, 4, 5, 29, 31, 35].

Гребневик мнемипсис имеет первичный ареал восточное побережье Северной и Южной Америки, проникает в настоящее время в Черное, Азовское, Каспийское и Балтийское моря. Способен быстро размножиться благодаря наличию гермафродитов в благоприятных условиях. Питается зоопланктоном, нарушая всю экосистему и систему морского питания. Сильно повлиял на рыболовную промышленность в Черном и Азовском морях [19, 27, 28, 33].

В отличие от достаточно холодных Белого и Баренцева морей, Балтийское море представляет собой хорошо прогревающийся летом водоем, в особенности в южных, центральных и восточных районах, с весьма различными соленосными условиями [20, 21, 22]. Это способствует акклиматизации в Балтике относительно теплолюбивых чужеродных видов азиатского происхождения, которые к тому же получают возможность найти для себя оптимальные соленосные условия существования. В юго-западных районах моря, по причине близости к зоне Датских проливов и Северному морю, соленость вблизи поверхности составляет от 10 до 15 ‰, а в придонных горизонтах доходит до 20 ‰. Вблизи балтийского побережья Германии и Дании, в силу достаточно высокой температуры воды, причем не только летом, но и в переходные сезоны, а также зимой, и высокой солености, становится возможным акклиматизация чужеродных теплолюбивых морских видов, в частности гребневики мнемипсиса (*Mnemiopsis leidyi*) [4, 5, 6]. В центральных районах Балтики соленость на поверхности снижается до 7–8 ‰, а у дна не превышает 13–14 ‰ [7, 8, 9, 10, 12, 21]. Темпе-

ратура воды в этих районах несколько ниже, чем в южных и юго-западных, зимой прибрежные воды Польши и Прибалтики могут покрываться льдом. В таких условиях становится возможным акклиматизация чужеродных видов умеренного бореального происхождения – моллюска дрейссены полиморфной, зоопланктонного рачка церкопагиса. Восточные и северные районы Балтики (Финский и Ботнический заливы) являются наиболее опресненными. Соленость воды в них на поверхности составляет от 5–6 до 1 ‰ [9, 13, 21, 22]. При этом именно здесь сосредоточены основные мелководные акватории, с каменистым или песчано-каменным дном, благоприятные для обитания крупных чужеродных ракообразных, таких как китайский мохнорукий краб. Данный вид является эвригаллиным и способен легко адаптироваться к низкой солености воды.

В Балтийском море мало эндемических видов – его флора и фауна состоит из видов различного экологического и биогеографического происхождения. Они включают в себя эвригаллинные виды, которые пережили природное расширение ареала из Северной Атлантики и уцелели в течение предыдущих периодов истории моря, виды, обитающие в соленой и пресной воде, а также виды недавно вселенные человеком. Будучи ранее озером послеледникового периода, Балтийское море стало объектом как спонтанного, так и антропогенного вселения фауны и флоры на протяжении более 10 000 лет [21, 22, 24]. Современные пресноводно-солонатоводные условия Балтийского моря не способствуют успешному вселению чужеродных видов. Морская экосистема подвергается влиянию со стороны пресноводной биоты мира благодаря разрушению крупномасштабных географических барьеров, связанному с развитием морского транспорта, приводящего к обмену видами. На берегах Балтики расположено около 150 портовых комплексов, большинство из которых располагаются в устьях и эстуариях рек. Таким образом, Балтийское море характеризуется сложной, трехмерной (т.е. физической, химической и биологической) сетью резких градиентов окружающей среды. Эта разнообразие может благоприятствовать усилению вторжения неэндемичных видов, предоставляя широкий спектр благоприятных условий для большого разнообразия форм жизни [5, 6, 15, 16, 18, 23].

В таблице представлен список видов, оказывающих в настоящее время наиболее выраженное негативное влияние, на основе анализа списка 100 неэндемических видов, зарегистрированных в Балтийском море, с указанием первоначального происхождения и времени обнаружения [35].

Наиболее опасные для экосистемы чужеродные виды-вселенцы, получившие распространение в Балтийском море

Вид (общепринятое название)	Происхождение	Время вселения в Балтийское море	Причина вселения
1	2	3	4
<i>Dreissena polymorpha</i> двустворчатый моллюск	Понто-Каспийское	начало XIX в.	Судоходство
<i>Cercopagis pengoi</i> планктонное ракообразное	Понто-Каспийское	1990-е	Судоходство

Окончание табл. 1

1	2	3	4
<i>Balanus improvisus</i> донное колониальное рако- образное	Северная Америка	1840-е	Судоходство
<i>Elodea canadensis</i> канадская водросль	Северная Америка	1870-е	Аквариумистика, судоходство
<i>Sargassum muticum</i> японская водросль	Северо-Восточная Азия	1980-е	Аквариумистика, судоходство
<i>Ficopomatus enigmaticus</i> трубочный червь	Южное полушарие	1950-е	Судоходство
<i>Styela clava</i> кожистая морская асцидия	Тихоокеанское	1990-е	Судоходство
<i>Mnemiopsis leidyi</i> планктоноядный гребневик	Северо-американ- ское побережье	начало XX в.	Судоходство
<i>Eiocheir sinensis</i> китайский мохнорукий краб	Тихоокеанское	начало XX в.	Аквариумистика, судоходство

Методы оценки и анализа показателей трансграничного биологического загрязнения морских экосистем

Оценка вызываемых чужеродными видами экологических следствий в новых для них экосистемах, а также в процессе натурализации, является сложной комплексной задачей, поскольку сам характер воздействий весьма многообразен. Как правило, чужеродные виды, преимущественно их личиночные стадии, выдержавшие жесткие условия транспортировки вместе с балластными водами судов, обладают повышенной выносливостью к воздействию факторов среды как естественных, так и антропогенных. Попадая в новые для них сообщества, многие чужеродные вступают в жесткую конкуренцию с местными видами, что часто приводит к количественному доминированию интродуцентов, перестройке пищевых сетей, заметному изменению физико-химических свойств местообитания. Таким образом, количественные показатели биологической загрязненности водных экосистем должны отражать многие стороны воздействия чужеродных видов на местный биоценоз и параметры неживой среды [22, 26, 30, 33].

Для эффективной комплексной оценки влияния трансграничного биологического загрязнения морских экосистем на состояние водных акваторий, и в частности в Балтийское море, по нашему мнению, должны быть учтены четыре главных показателя биологической загрязненности:

- относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории
- степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте, мера способности к быстрому воспроизводству в новых условиях.

– степень и характер воздействия чужеродного вида на местные (аборигенные виды) и сообщества.

– степень и характер видоизменения местообитания (влияние на физико-химический состав воды, механические характеристики субстрата и т.п.) и влияние на функционирование экосистемы в целом.

При этом для каждого параметра следует установить количественные характеристики. Так, применительно к относительной численности чужеродного вида следует вводить оценки: «*очень низкая*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 1 % от суммы особей всех видов данного таксона); «*низкая*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 10 % от общей численности всех взрослых особей всех видов данного таксона в конкретном сообществе); «*умеренная*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 25 % от суммы особей всех видов данного таксона); «*высокая*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии превосходит 25 % от суммы особей всех видов данного таксона). Например, моллюск дрейссена полиморфная достаточно часто в пределах Восточной и Южной Балтике может по своей численности во взрослом состоянии достигать не менее 10 % от общей численности всех видов моллюсков на данном участке морского дна.

К степени распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте следует вводить следующие оценки: вид «*очень слабо распространен*» (заняты единичные местообитания до 1 % от общей площади водного биоценоза); вид «*слабо распространен*» (заняты несколько местообитаний до 10 % от общей площади водного биоценоза); вид «*умеренно распространен*» (заняты много местообитаний до 30 % от общей площади водного биоценоза); вид «*сильно распространен*» (заняты очень много местообитаний более 30 % от общей площади водного биоценоза). Мету способности к быстрому воспроизводству в новых условиях следует оценивать исходя из конкретной биологической специфики вида. В данном случае возможными критериями оценок воспроизводства могут быть такие показатели, как выживаемость эмбрионов или личинок, способность к размножению единично или многократно за год, степень увеличения удельной плодовитости в процессе акклиматизации и натурализации и т.д.

Определение оценок первого показателя биологического загрязнения (N) – «относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории» производится путем определения *частоты встречаемости* вида, т.е. отношением численности данного чужеродного вида в пробах к общей численности всех видов той же таксономической категории. Для оценки численности интродуцентов относительно численности других групп организмов той же таксономической категории правомерно использовать *индекс доминирования Симпсона*. При этом следует равномерно и с достаточно большой дискретностью размещать станции наблюдений на полигоне исследо-

ваний, включая как районы с потенциально повышенной численностью интродуцентов (портовые зоны), так и малопреобразованные человеком участки акваторий.

Определение оценок второго показателя биологического загрязнения (D) – «степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте» возможно производить с использованием *показателей видового сходства сообществ*: мера Уиттекера и мера Рагледжа. Для данной задачи возможно также применять индексы общности Жаккара и Серенсена-Чекановского. Эти коэффициенты равны 1 в случае полного совпадения видов сообществ и равны 0, если выборки совершенно различны и не включают общих видов. На основе полученных данных о сходстве сообществ при условии относительно однородности абиотических условий можно выявить зоны (фронты) текущего распространения чужеродных видов.

Определение оценок третьего показателя биологического загрязнения (I) – «степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества» может производиться с использованием показателей *видовой плотности* и индексов видового богатства Маргалефа и Менхиника. 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.

Определение оценок четвертого показателя биологического загрязнения (M) – «степень и характер видоизменения местообитания и влияние на функционирование экосистемы в целом» производится комплексно, с использованием данных о первых трех показателях биологического загрязнения, а также данных отражающих изменение важнейших гидрохимических параметров (компоненты минерального состава воды, концентрации растворенных газов, биогенных веществ и др.), прозрачности воды, изменения характера естественного субстрата и т.д. На основе обобщения сведений делается заключение об интегральной оценке влияния чужеродного вида на местную экосистему, вплоть до значительного ее преобразования или разрушения.

Анализ показателей трансграничного биологического загрязнения Балтийского моря крупнотоннажными водами морских судов

На основании обобщения имеющихся данных о численности, распределении и характере влияния чужеродных видов из списка наиболее нежелательных организмов, присутствующих в балластных водах судов согласно Международной конвенции по Контролю и управлению корабельными балластными водами и отложениями, на местную фауну и состояние экосистем Балтийского моря [1,

2, 3, 6, 11, 14, 15, 16, 24, 25, 29, 33, 35] было произведено зонирование акваторий моря и географический анализ показателей биологической загрязненности, представленный на рис. 2, 3, 4.

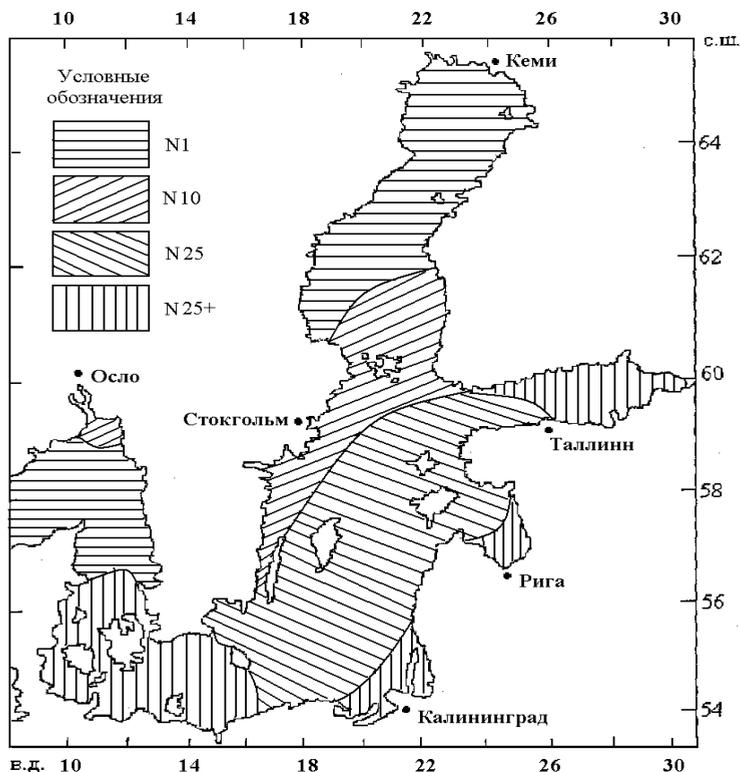


Рис. 2. Значения показателя биологической загрязненности N (относительная численность чужеродных видов среди представителей той же таксономической категории) в Балтийском море. $N1$ – очень низкое; $N10$ – низкое; $N25$ – умеренная; $N25+$ – высокая

Значения показателя биологической загрязненности N , как видно из рис. 2, достигают минимальных значений в центральной и северной частях Ботнического залива Балтийского моря и в пр. Каттегат и Скагеррак, соединяющих Балтику с Северным морем. Очень низкая численность чужеродных видов в Ботническом заливе объясняется его удаленностью от основных транспортных магистралей, малым количеством портов, низкой соленостью и температурой воды. Причем низкие значения солености воды, которые в северной части залива не превышает 2–3 ‰, формируются не только за счет большой удаленности от зоны проливов и ослабленным водообменом с Центральной Балтикой по причине обширных мелководий вокруг Аландских островов, но и большим объемом пресного речного стока рек Швеции и Финляндии в эту акваторию. В пр. Каттегат и Скагеррак очень низкая численность чужеродных видов, способных создавать самовоспроизводящиеся популяции, объясняется во многом

за счет наиболее высоких значений солености воды в Балтийском море, которые могут составлять в поверхностных водах от 20 до 25 ‰. Высокая численность чужеродных видов характерна для Финского, Рижского, Куршского, Калининградского заливов моря, а также для устьевой зоны р. Одер, зоны Датских проливов. В этих районах значения факторов среды, и прежде всего солености воды и типа субстрата, достигают наибольшей неоднородности, что приводит к формированию множества различных экологических ниш, наиболее подходящие из которых с успехом занимаются чужеродными видами.

Как видно из рис. 3, значения показателя биологической загрязненности I , отражающего степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества, в Балтийском море также меняются весьма значительно. Чужеродные виды оказывают весьма значительное влияние на местные виды в районах Восточной части Финского залива, Калининградского и Куршского заливов, а также вдоль балтийского побережья Германии. Районы с несущественным влиянием в настоящее время располагаются в пределах большей части Ботнического залива и пр. Каттегат и Скагеррак.

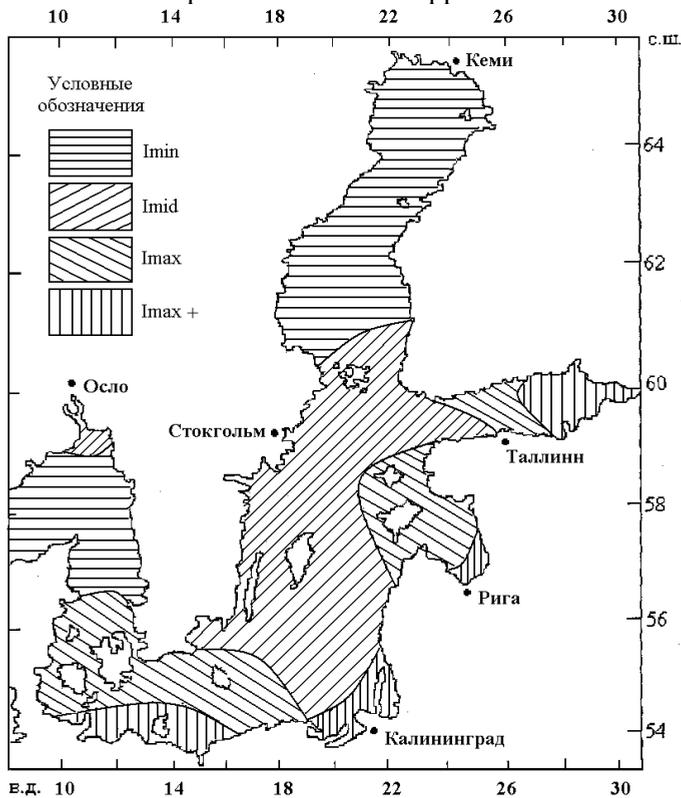


Рис. 3. Значения показателя биологической загрязненности I (влияние чужеродного вида на местные (аборигенные виды) и сообщества в Балтийском море. I_0 – влияние не существенно; I_{min} – влияние существенно; I_{max} – влияние значительно; I_{max+} – влияние весьма значительно

Значительное влияние чужеродных видов на местные сообщества характерно для Западной части Финского залива, побережий островов Сааремма и Хийумма, побережья о. Борнхольм и Рюген в юго-западной Балтике, а также побережья Дании [26, 30, 35]. Значения показателя биологической загрязненности M , отражающего видоизменения местообитания чужеродными видами и их влияние на функционирование экосистемы в целом, показаны на рис. 4.

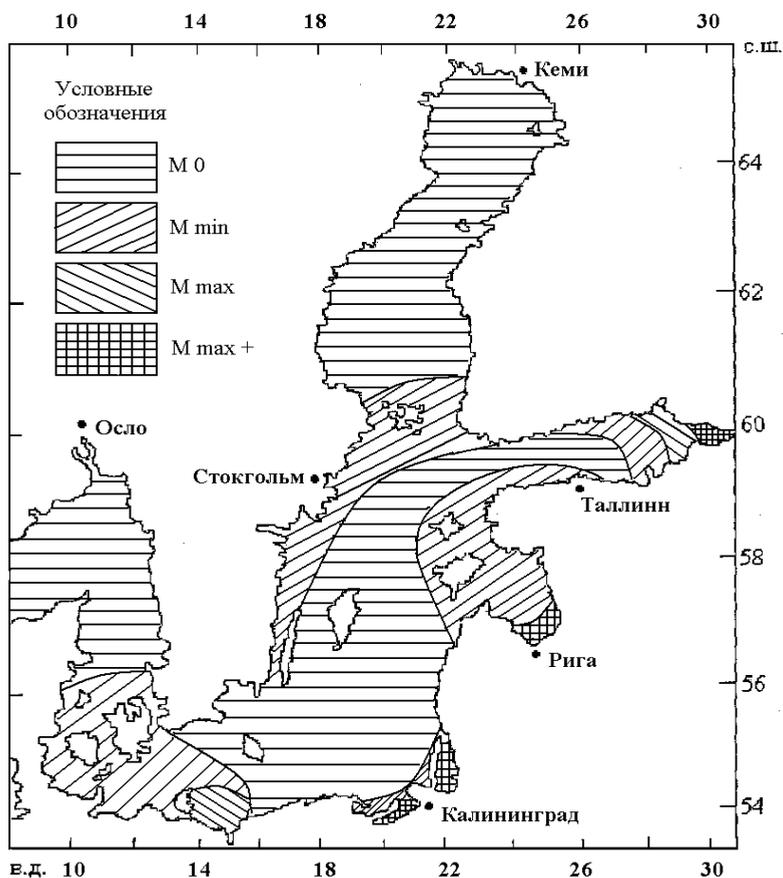


Рис. 4. Значения показателя биологической загрязненности M (степень и характер видоизменения местообитания и влияние на функционирование экосистемы в целом).

$M 0$ – влияние на среду не существенно; $M \min$ – влияние на среду существенно;
 $M \max$ – влияние на среду значительно; $M \max +$ – влияние на среду очень значительно

Как видно из данного рисунка, центральная глубоководная часть моря не испытывает какого-либо негативного влияния со стороны чужеродных видов (влияние на среду не существенно). Аналогичную оценку имеют акватории Ботнического залива и пр. Каттегат и Скагеррак. Значительное и очень значительное влияние чужеродных видов на параметры водных экосистем наблюдается в Восточной части Финского залива, в Выборгском заливе, в устьевой зоны

р. Даугавы (Рижский залив), в устье р. Одер, вдоль балтийского побережья Германии [28, 29, 33]. В этих районах чужеродные виды, за счет своей высокой численности и доминирующего положения осуществляют преобразование абиотических и биотических компонентов экосистем, путем изменения циклов обмена веществ и энергии в пищевых цепях, некоторых химических параметров окружающей среды и физико-механических свойств субстрата. Из всех разработанных показателей биологической загрязненности самым информативным является показатель M , способный отражать итоговое совокупное воздействие на окружающие природные условия. Показатель D , характеризующий степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте, менее информативен и полезен на практике, так как не каждый даже широко распространенный и даже акклиматизировавшийся чужеродный вид способен оказывать существенное или значительное влияние на местные биоценозы. Качественные и количественные характеристики показателя биологической загрязненности D , также малоинформативны, так как в большинстве случаев они отражают принципиальную встречаемость особей данного вида в конкретной акватории, но при этом не дают оснований судить о роли данного вида в сообществе.

В целом, эстуарии Балтийского моря выполняют роль плацдармов, которые содействуют ассимиляции неэндемичных видов. Куронийская, Вистульская и Сзечинская лагуны, Немецкий Бодден и эстуарий Невы являются местом обитания большого числа акклиматизирующихся чужеродных видов и могут считаться «центрами чужеродного разнообразия» вдоль Балтийского Побережья. На основании опубликованных результатов работ российских и иностранных авторов [1, 2, 3, 26, 31, 35] минимальный темп вторичного распространения дрейссены полиморфной и сходного с ней по особенностям экологии прикрепленного усонного рачка *Balanus improvisus* и внутри бассейна оценивается следующим образом: *Balanus improvisus* распространялся из Кенигсберга (теперешнего Калининграда) (1844) до Турку (1868) со скоростью 30 км в год [14, 18, 35]. Во многом такое быстрое распространение объясняется наличием у обоих видов в жизненном цикле свободно плавающей планктонной личинки. В восточной части Финского залива в последнее десятилетие происходит интенсивное строительство новых крупных портовых сооружений (Усть-Луга, Приморск, Высоцк и др.). Поэтому следует ожидать дальнейшего распространения чужеродных видов, привносимых с балластными водами судов в этом районе.

Заключение

На основе рассмотрения особенностей трансграничного биологического загрязнения балластными водами крупнотоннажных судов морских экосистем, анализа направлений расселения и форм негативного воздействия чужеродных видов, проникающих в морские экосистемы Европы, разработаны и проанализированы значения показателей трансграничного биологического загрязнения экосистемы Балтийского моря.

Установлено, что значения показателя биологической загрязненности N , (относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории) оцениваются как «очень низкие» в северной частях Ботнического залива и в пр. Каттегат и Скагеррак, соединяющих Балтику с Северным морем (N от 1 до 5 %); «низкие» в южной части Ботнического залива (N от 5 до 10 %); «умеренные» в центральных районах Балтики (N от 10 до 25 %); «высокие» для Финского, Рижского, Куршского и Калининградского заливов, устьевой зоны р. Одер, зоны Датских проливов значения (N от 25 до 35 %).

Значения показателя биологической загрязненности D (степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте), оцениваются как «очень слабое распространение» в северной частях Ботнического залива и в пр. Скагеррак (D от 1 до 5%); «слабое распространение» в южной части Ботнического залива (N от 5 до 10 %); «умеренное распространение» в центральных районах Балтики (N от 10 до 30 %); «сильное распространение» в восточной части Финского залива, в Выборгском и Куршском заливах (D от 30 до 40 %).

Значения показателя биологической загрязненности I (степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества) оцениваются как «влияние не существенно» в северной частях Ботнического залива и в пр. Скагеррак (I не более 5 %); «влияние существенно» в центральных районах Балтики (I от 5 до 15 %); «влияние значительно» в районе о. Борнхольм и в зоне Датских проливов (I от 15 до 30 %); «влияние весьма значительно» в восточной части Финского залива, Рижском заливе, Куршском и Калининградском заливах, в устьевой зоны р. Одер (I от 30 до 50 %).

Значения показателя биологической загрязненности M (степень и характер видоизменения местообитания и влияние на функционирование экосистемы в целом), оцениваются как «влияние не существенно» в северной и центральной частях Ботнического залива, в центральных районах Балтики, в пр. Скагеррак и Каттегат (M от 0 до 5 %); «влияние существенно» в южной части Ботнического залива, в западной части Финского залива, в центральной части Рижского залива, в районе Датских проливов (M от 5 до 10 %); «влияние значительно» в восточной части Финского залива, в устье р. Одры (M от 10 до 15 %); «влияние очень значительно» в Невской губе, устье р. Даугавы, Калининградском и Куршском заливах (M от 15 до 20 %).

Успех акклиматизации многих чужеродных видов, распространяющихся в процессе трансграничного переноса за счет судоходства, и высокие оценки параметров производимых ими биологических загрязнений, во многом зависят от специфики местных океанологических и гидрологических условий. Родиной большинства нежелательных видов моллюсков и ракообразных, способных распространяться с балластными водами судов (моллюск дрейссена полиморфна, китайский мохнорукий краб, рачок церкопагис и др.), являются эстуарии и устья рек. Так как в таких районах наблюдаются существенные изменения значений солености воды – от почти пресной непосредственно в устье рек (1–2 ‰)

до солоноватой (от 2 до 10 ‰), с наличием тенденции к дальнейшему возрастанию по мере отдаления от побережья, то для видов-интродуцентов из многих районов Мира мелководные южные и восточные заливы Балтийского моря, устьевые зоны оказались по своим океанологическим условиям наиболее подходящими для акклиматизации, массового развития и натурализации. В наибольшей степени этому будут способствовать условия эстуариев и устьев рек Финского, Рижского, Куршского и Калининградского заливов. Наименее подверженным биологическому загрязнению следует в настоящее время признать Ботнический залив, в особенности его центральную и северную часть, где под влиянием пониженной температуры воды значительную часть года и постоянно низкой солености благоприятное течение жизненного цикла, в том числе воспроизводство, весьма затруднено или невозможно. Основным экологическим фактором, лимитирующим развитие и распространение гидробионтов, в том числе и чужеродных, в Балтийском море является соленость воды, далее по значимости следуют температура воды и концентрация кислорода в придонных горизонтах. Имеются основания говорить о возможности выработки чужеродными видами новых эффективных адаптаций, позволяющих постепенно расширять свое присутствие и воздействие в районах, ранее считавшихся неблагоприятными для их жизнедеятельности [23, 29, 35]. Тем не менее, полученные результаты [7, 8, 9, 11, 13, 20, 21] и дальнейшие исследования многолетней изменчивости климата, океанологического и гидрологического режимов в Европейском регионе с целью установления их причин, а также данные о развитии морехозяйственной деятельности позволят разработать прогностические оценки и сценарии динамики процесса трансграничного биологического загрязнения балластными водами крупнотоннажных судов экосистемы Балтики и других морей Северо-Запада РФ.

Литература

1. Алимов А.Ф., Никулина В.Н., Панов В.Е. и др. Гидробиологическая характеристика Невской губы Финского залива // Гидробиол. ж., 1993, т. 29, № 3, с. 3–14.
2. Алимов А.Ф., Орлова М.И., Панов В.Е. Последствия интродукций чужеродных видов для водных экосистем и необходимость мероприятий по их предотвращению. В кн.: Виды-вселенцы в европейских морях России // Сб. науч. трудов. – Апатиты: изд. Кольск. науч. центра РАН, 2000, с. 12–23.
3. Алимов А.Ф., Орлова М.И., Панов В.Е. Роль Волго-Балтийского водного пути в формировании солоновато-водной и пресноводной фаун в водных экосистемах Европейской части России // Междунар. научн. конф. «Малые реки: современное экологическое состояние, актуальные проблемы», Тольятти, 23–27 апреля 2001 г., с. 8-9.
4. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах // Под ред. А.Ф. Алимова, Н.Г. Богучкой. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – 436 с.
5. Виды-вселенцы в европейских морях России / Отв. ред. Г.Г. Матишов. – Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – 312 с.
6. Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Гасанова Э.Г. Влияние солености воды на состав сообществ и формирование зон экотон в Балтийском море // Уч. зап. РГТМУ, 2005, № 1, с. 109–136.
7. Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в районе Балтийского моря и ее причины // Метеорол. и гидрол., 2011, № 5, с. 77–87.

8. Дроздов В.В. Особенности влияния динамики уровня моря в юго-западной Балтике и пролива Каттегат на гидрохимический режим в глубоководных горизонтах и промысловую продуктивность // Экологич. химия, т. 20, вып. 1, 2011, с. 28–41.
9. Дроздов В.В. Особенности многолетней динамики гидрологического режима Балтики и причины возникновения экстремальных параметров водообмена между Балтийским и Северным морями // Изв. Русск. географич. общ-ва, 2010, т. 142, вып. 4, с. 40–46.
10. Дроздов В.В. Крупномасштабная изменчивость атмосферной циркуляции и температурный режим Беломорского региона // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, № 1, с. 65–73.
11. Дроздов В.В. Многолетняя динамика компонентов экосистемы Невской губы под влиянием природных факторов и гидростроительства // Экология и промышленность России, 2010, № 4, с. 68–75.
12. Единая система информации о Мировом океане. Проект ЕСИМО. Режим доступа: [<http://www.esimo.ru>].
13. Еремина Т.Р., Басова С.Л. Современные черты гидрохимических условий в восточной части Финского залива. В кн. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы // Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008, с. 24–38.
14. Карандеева О.Г. Процессы, обеспечивающие осморегуляцию у водных беспозвоночных / В кн.: Физиология морских животных. – М.: Наука, 1966, с. 176–233.
15. Карлин Л.Н., Шилин М.Б., Аверкиев А.С., Голубев Д.А., Дроздов В.В., Жакова Л.В. Основные концепции современного берегопользования. Т. III. Оценка эффектов природных и антропогенных воздействий на прибрежные экосистемы. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 209 с.
16. Костричкина Е.М. Распределение, сезонная и многолетняя динамика зообентоса в Балтийском море // Рыбохозяйств. исслед. в бассейне Балтийского моря, 1980, вып. 15, с. 118–129.
17. Колонин Г.В., Герасимов С.М., Морозов В.Н. Биологическое загрязнение // Экология, 1992, № 2, с. 89–94.
18. Лукиенас Ю.К. Биоценозы и трофические группировки донных беспозвоночных южной части Балтийского моря // Океанология, 1969, т. 9, вып. 6, с. 1078–1086.
19. Матишов Г.Г., Денисов В.В. Экосистемы и биоресурсы европейских морей России на рубеже XX и XXI веков. – Мурманск: ООО «МИП-999», 1999. – 124 с.
20. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. – Балтийское море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
21. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. Балтийское море, вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994.
22. Фрумин Г.Т., Басова С.Л. Физико-географическое описание восточной части Финского залива / В кн.: Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008, с. 16–19.
23. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. – Л.: Наука, 1974. – 233 с.
24. Ярвекюльг А.А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. – Таллинн: Валгус, 1979. – 382 с.
25. Ярвекюльг А.А. Зообентос Центральной и восточной Балтики // Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. – М., 1984. – Т. 3, с. 155–234.
26. Bignert, A., Nyberg E., Asplund L., Comments Concerning the National Swedish Contaminant Monitoring Programme in Marine Biota. Report to the Swedish Environmental Protection Agency, 2007. – 128 p.
27. Occhipinti-Ambrogi A., Savini D. Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems // Marine Pollution Bull. 2003. Vol. 46. Iss. 5. P. 542–551.
28. Olliveira N.S., Otto M.P. (2007): The presence of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the Oslofjorden and considerations on the initial invasion pathways to the North and Baltic Seas. Aquatic Invasions 2 (3): 185–189.
29. Leppakoski E., Gollasch S., Gruszka P. et al. The Baltic – a sea of invaders // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2002. Vol. 59. P. 1175–1188.

30. *Leppakoski E., Gollasch S., Olenin S.* (eds) *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002. 583 pp.
31. Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission, 2001. Режим доступа: <http://www.issg.org/>
32. 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).
33. Global Invasive Species Programme (GISP), 1999. Режим доступа: <http://jasper.stanford.edu/gisp/>
34. GloBallast (Глобальная программа по управлению балластными водами). 2000. Режим доступа: <http://globallast.imo.org/>
35. Baltic Sea Alien Species Database, 2001. Режим доступа: <http://www.ku.lt/nemo/mainnemo.htm>

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.