

М.Б. Шилин, В.Б. Погребов, М.А. Мамаева, С.В. Лукьянов, Ю.А. Леднова

УЯЗВИМОСТЬ ЭКОСИСТЕМ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА К ДРЕДЖИНГУ

M.B. Shilin, V.B. Pogrebov, M.A. Mamaeva, S.V. Lukyanov, Ju.A. Lednova

ECOLOGICAL SENSITIVITY OF THE COASTAL ZONE OF THE EASTERN GULF OF FINLAND (THE BALTIC SEA) TO DREDGING

Материал для исследования экологической уязвимости береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу собран экспедициями Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) в летний и осенний периоды 2006-2011 гг. в ходе выполнения комплексного экологического мониторинга районов строительства портовых комплексов. По результатам анализа данных о распределении основных компонентов прибрежных экосистем построены карты интегральной уязвимости береговой зоны для весеннего и летнего сезонов. По результатам проведенных исследований в качестве основных видов стрессового воздействия на экосистемы, связанных с дреджингом, выделены (1) прямые подвижки грунта (экскавация и сброс в отвалы) и (2) увеличение количества взвеси в воде. Показано, что уязвимость восточной части Финского залива к взвеси более высока, чем собственно к изъятию грунта и его сбросу в отвалы. По отношению к взвеси большую часть акватории восточной части Финского залива можно охарактеризовать как высоко уязвимую. Показано, что к обоим видам техногенного воздействия чувствительность акватории весной выше, чем летом. Даны рекомендации по использованию интегральных карт экологической чувствительности для минимизации негативного воздействия на прибрежно-морскую зону.

Ключевые слова: экологическая чувствительность, прибрежно-морская зона, донные отложения, мутность, бентосные сообщества

Ecological sensitivity of the coastal zone to dredging was studied in 2006 – 2011 in Eastern Gulf of Finland where a number of the large-scale hydro-technical projects are realized. Maps of integral sensitivity of coastal zone to dredging are constructed for Spring and Summer, with using 5 grades of sensitivity: «low», «poor», «average», «high», «extremely high». The main types of impact associated with dredging are analyzed: direct sediments movement (excavation and dumping of dredged material) and increase the number of suspended material in the water. It is shown, that the sensitivity of the Gulf of Finland to the suspended material is higher than to the actual removal and dumping of dredged material. In relation to suspended material, the most part of the Eastern Gulf of Finland can be characterized as «highly sensitive». In addition, the sensitivity of

the both types of anthropogenic impacts is higher in Spring than in Summer. Areas and biotic objects of extremely high sensitivity are described. Recommendations for decision makers and managers of dredging projects are formulated how to use the information about ecological sensitivity for minimizing the negative impact on the coastal zone.

Key words: ecological sensitivity, coastal zone, dredging, bottom sediments, turbidity, benthic communities

Введение

В первое десятилетие XX в. в береговой зоне восточной части Финского залива Балтийского моря реализовано или продолжает осуществляться несколько крупномасштабных гидротехнических проектов. Это создание комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (введен в строй в 2011 г.), строительство портовых комплексов в Лужской губе и проливе Бьеркезунд, модернизация Большого порта и формирование Морского фасада Санкт-Петербурга. Перечисленные проекты связаны с выполнением значительных по объему дреджинговых работ, оказавших и продолжающих оказывать значительное воздействие на экосистемы береговой зоны. Для прогнозирования последствий этих воздействий целесообразно оценить экологическую уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу и составить карты пространственно-временного распределения этой интегральной характеристики береговых экосистем.

Под дреджингом понимается экскавация донного грунта с целью изъятия донных осадков из водной среды и последующего их размещения в различных местах назначения (<http://en.wikipedia.org/>). Распространению термина «дреджинг» в России способствовал международный семинар «Экологическая безопасность дреджинга в современном мире», организованный в 2009 г. в Санкт-Петербурге Центральной дреджинговой ассоциацией (Central Dredging Association - CEDA, Нидерланды), РГГМУ и Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом (СПбГПУ) при взаимодействии с Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга (<http://www.cedaconferences.org/st-petersburg2009>).

Материал и методы

Материал для исследования экологической уязвимости береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу собран экспедициями Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) в летний и осенний периоды 2006 – 2011 гг. в ходе выполнения комплексного экологического мониторинга районов строительства портовых комплексов в Лужской губе и проливе Бьеркезунд и морских отвалов извлеченного грунта в восточной части Финского залива, а также в 2011 г. на трассе подводного газопровода «Нордстрим». Материалом явились количественные пробы бентоса, фито- и зоопланктона, данные ловов рыбы и съемки макрофитов, а также результаты наблюдений за птицами и морскими млекопитающими [1,2,5,6,9,10].

Данные по пространственному и сезонному распределению перечисленных выше групп организмов использованы нами для оценки интегральной уязвимости

береговой зоны восточной части Финского залива к воздействию дреджинга. Для обобщения полученных данных и визуализации результатов по определению уязвимости прибрежных экосистем использована оригинальная методика картирования экологической уязвимости прибрежных акваторий и территорий к различным видам антропогенного воздействия [4,5,8].

Используемая методика основана на следующих предпосылках:

- для полноты характеристики рассматриваемых экосистем объектами рассмотрения являются все основные группы растений и животных, входящие в состав прибрежных биологических сообществ;
- относительная уязвимость различных компонентов экосистем к прогнозируемым воздействиям задается в виде коэффициентов исходя из накопленных знаний (см. табл. 1) и корректируется специалистами с учетом местной (региональной) специфики;
- изменения уязвимости отдельных групп организмов на протяжении года характеризуются путем построения сезонных карт распределения;
- для построения обобщающих карт используются географические информационные системы (ГИС);
- интегральная уязвимость региона определяется как результат суммирования уязвимости территории или акватории по отдельным группам растений и животных, с учетом их индивидуальной чувствительности к воздействиям, способности к восстановлению, пространственного и сезонного распределения.

Таблица 1.

Относительная уязвимость различных компонентов морских прибрежных экосистем восточной части Финского залива к основным видам антропогенных воздействий [3,4 с изменениями]

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости *				
	Геофизическая сейсмическая съемка	Увеличение количества взвеси в воде	Эксплуатация и сброс грунта	Нефтяная пленка	Диспергированная нефть
Фитопланктон	1	3	1	1	2
Зоопланктон	2	4	1	2	3
Макроводоросли	1	5	5	2	3
Сосудистые растения	1	1	2	3	2
Донные беспозвоночные	1	3	5	2	3
Рыбы (икра, мальки)	5	5	4	4	5
Рыбы (взрослые особи)	4	4	3	2	3
Птицы	2	3	2	5	2
Ластоногие	3	2	1	5	3

* *Примечание.* «1» - наименьшая чувствительность, «5» - наибольшая чувствительность.

В соответствии с предложенной методикой под экологической уязвимостью организмов к антропогенному воздействию понимается совокупность биологических особенностей отдельных видов или групп растений и животных, являющихся компонентами морских и прибрежных экосистем. Она определяется:

- чувствительностью отдельных групп растений и животных к конкретным видам антропогенного воздействия;
- способностью восстанавливать исходное обилие и структуру популяций, а также всю совокупность внутрисистемных связей после осуществления воздействия (группы организмов, более подверженные воздействиям, но и быстро восстанавливающиеся - например, планктон - имеют в методике более низкие коэффициенты относительной уязвимости, чем медленнее восстанавливающиеся группы организмов - рыбы, птицы и млекопитающие).

Потенциальная экологическая уязвимость акватории к антропогенному воздействию определяется не только различной экологической уязвимостью организмов к рассматриваемым видам воздействия, но и пребыванием на ней видов или групп растений и животных в том или ином количестве (или их отсутствием). Количественная оценка потенциальной экологической уязвимости акватории будет изменяться во времени и пространстве в соответствии с естественной динамикой состава, обилия и структуры биологических сообществ акватории.

По результатам анализа данных о распределении основных компонентов прибрежных экосистем строили карты интегральной уязвимости береговой зоны для весеннего и летнего сезонов (время проведения дреджинговых работ). При построении карт использовали пять градаций потенциальной экологической уязвимости (1 - незначительная; 2 - низкая; 3 - средняя; 4 - высокая; 5 - очень высокая). Основная задача такого картирования - наглядно продемонстрировать уязвимость природной среды к ожидаемым антропогенным нагрузкам.

Незначительная уязвимость соответствует состоянию экосистемы, при котором она может сохранять структурную и экологическую целостность под воздействием стрессовых факторов.

Низкая и средняя уязвимости характеризуют длительность проявления эффектов от стрессового воздействия и соответственно меньший или больший периоды восстановления экосистемы.

Высокая уязвимость соответствует такому состоянию экосистемы, при котором эффекты от стрессового воздействия очень значительны и могут продолжаться длительное время. При этом происходит обеднение и деградация экосистемы в целом.

Очень высокая уязвимость показывает неспособность экосистемы сохранять свою целостность, указывает на возможность невосполнимого удаления одного или нескольких компонентов системы, а также невозможность возвращения в исходное состояние.

Адекватность и современность информации, представленной на картах-схемах, достигнута сочетанием анализа специальной литературы, использованной при их построении [2,5,7,8] и корректировкой данных за счет использования собственных наблюдений. Представленные на картах-схемах данные можно считать среднесрочными за период 2007-2011 гг.

Воздействие дреджинга на различные компоненты биоты: аналитический обзор

Воздействия дреджинга на морские прибрежные экосистемы сводятся:

- 1) к изъятию донных осадков со дна;
- 2) их сбросу на дно;
- 3) загрязнению водной толщи взвесью;
- 4) загрязнению воды и донных осадков содержащимися во взвеси веществами.

При планировании деятельности, связанной с подъемом грунта на поверхность и его захоронением на дне, эти группы воздействий для различных компонентов береговых экосистем следует рассматривать отдельно. Однако в конечном итоге необходимыми всегда оказываются (1) анализ воздействия дреджинга на важнейшие компоненты береговых экосистем и (2) составление интегральных карт уязвимости берегов и прибрежных вод к ожидаемым воздействиям. В нашей работе в качестве основных компонентов прибрежных экосистем рассматриваются: фито- и зоопланктон, водоросли, высшая водная, околородная и прибрежная растительность, донные беспозвоночные (зообентос), рыбы (икра, мальки и взрослые особи), птицы и водные млекопитающие. Все названные группы организмов реагируют на воздействие дреджинга в зависимости от условий его проведения. Определяющую роль будут иметь: способ изъятия и сброса грунта, частота сбросов и их объем, гидрологический режим в районе дреджинга, характеристики сбрасываемого грунта (гранулометрический состав, происхождение, уровень загрязненности), сезон, когда производятся работы. Воздействие дреджинга на названные группы флоры и фауны может быть кратко суммировано следующим образом (эффекты загрязнения грунтов не рассматриваются).

Фитопланктон. Повышение концентрации взвеси в воде приводит к уменьшению ее прозрачности и снижению уровня фотосинтеза. Вымывание из взвеси органических и минеральных веществ меняет химический состав воды, что также влияет на фитопланктон. Воздействуя механически, взвеси разбивают колониальные водоросли, засыпают придонные виды. Возможно выпадение из состава планктонного сообщества мелких форм, которые будут оседать на дно из-за налипания на оболочки их клеток тонкодисперсных частиц.

С ростом мутности снижается количество солнечной радиации, проникающей в толщу воды. Синезеленые водоросли наименее требовательны к свету и при низкой интенсивности света растут лучше, чем зеленые. Поэтому для развития зеленых водорослей ухудшение световых условий является лимитирующим фактором, а для синезеленых это не существенно. Таким образом, увеличение мутности в первую очередь негативно скажется на развитии «кормового» фитопланктона (зеленые и диатомовые водоросли). Нередко в зоне повышенной мутности на место доминировавших видов мелких планктонных синезеленых, полностью или почти полностью исчезающих, приходят бентосные, более крупноразмерные виды [3]. В результате общая продукция сообщества остается на фоновом уровне, а удельная фотосинтетическая активность продуцирования снижается.

С удалением от эпицентра дреджинга воздействие на фитопланктон меняется. Летальный эффект возникает на участках, расположенных вплотную к зоне работ.

Ингибирующее действие прослеживается на участках, относительно удаленных от проведения операций. Затем может проявиться стимулирующее действие. Оно наблюдается в зоне значительно ослабленного воздействия повышенных концентраций взвеси, однако достаточного, чтобы смог проявиться положительный эффект от органики, поступающей с грунтом. Фитопланктон дает резкую вспышку вегетации за счет биогенных элементов, находящихся в грунтах («эффект удобрения»). Увеличиваются все показатели обилия фитопланктона (численность, биомасса, продукция).

По окончании dredging работ численность фитопланктона восстанавливается; иногда его количество даже увеличивается.

Зоопланктон. Реакция организмов зоопланктона на dredging зависит от особенностей их биологии – продолжительности жизненного цикла, плодовитости, периода размножения, скорости роста, способа питания и т.д. Наиболее неблагоприятно воздействие высоких концентраций взвеси в воде на ракообразных, у которых засоряется жаберный аппарат. Фильтрующие гидробионты гибнут из-за потери плавучести от поглощения большого объема минеральных частиц. Часто это ведет к полному исчезновению зоопланктона в районах осуществления dredging. Иногда у оседающих частиц появляются коагулирующие свойства, особенно в присутствии гидрата окиси железа и некоторых органических веществ. Образующиеся при этом хлопья прилипают к мелким организмам (коловраткам, ветвистоусым рачкам) и осаждают их на дно.

Очень чувствительны к содержанию взвеси в воде личинки донных ракообразных, полихет и двустворчатых моллюсков. Темпы их роста и выживаемость в районе dredging заметно снижаются.

В условиях Финского залива в зоне повышенной мутности снижение числа видов зоопланктона происходит до 50 % от исходного, захватывая все таксономические группы [3]. Наиболее чувствительными к повышенной мутности оказываются коловратки и ветвистоусые рачки (организмы-фильтраторы). Наиболее устойчивыми к dredging оказались циклопы (по способу питания – «хвататели»).

В зоне dredging, на участках с максимальными концентрациями грунтовой взвеси обилие зоопланктона по сравнению с фоновыми показателями снижается в 3-5 раз, а сразу после сброса отмечается практически 100 %-ная гибель зоопланктона. Принято считать, что при повышении мутности относительно фоновой на 10-50 мг·л⁻¹ гибель планктонных организмов составит 25 %; на 50-100 мг·л⁻¹ – 50 %; более чем на 100 мг·л⁻¹ – 100 % [3]. Однако за счет горизонтального перемещения водных масс планктонное сообщество быстро восстанавливается. Более того, во время сброса грунта в донные отвалы близ места его проведения могут наблюдаться более высокие значения показателей численности и биомассы зоопланктона по сравнению с соседними участками. Эффект объясняется, по-видимому, тем, что на участке сброса грунта, как указано выше, наблюдается вспышка развития фитопланктона, и происходит активная миграция зоопланктона к источнику пищи.

Макроводоросли и высшие водные (сосудистые) растения. Dredging в акватории Финского залива считается специалистами одним из наиболее опасных видов воздействия для макроводорослей [1,2,10]. Погруженные высшие водные растения также высоко чувствительны к долговременному воздействию повышенной мутности. Многие растения гибнут в результате такого воздействия. Те же, которые оста-

ются живыми после проведения гидротехнических работ, в следующий сезон не дают побегов. Это объясняется тем, что взвесь, оседающая на их листьях, препятствует фотосинтезу, и корневая система растений уходит на зимовку без накопления питательных веществ, необходимых для вегетации в следующем сезоне. В акваториях, прилегающих к местам проведения дреджинга, может происходить замывание и заиливание твердых субстратов, пригодных для поселения водорослей. Это особенно опасно для микроскопических стадий в их жизненном цикле (зооспоры, гаметы, зиготы), поскольку они не могут прикрепиться к твердым субстратам.

Донные беспозвоночные испытывают наиболее неблагоприятное воздействие дреджинга: в зоне производства работ происходит прямая гибель донной фауны [1, 7]. Во многих случаях бентосные сообщества в местах дреджинга бывают уничтожены полностью. Заваливание грунтом для крупных беспозвоночных (например, десятиногих ракообразных) менее губительно, чем для мелких животных (например, гаммарид). При осадении извлеченного грунта на дно основными видами воздействия на бентосных беспозвоночных являются: механическое засыпание их грунтом, изменение состава донных отложений, химического состава придонных и интерстициальных вод, содержание растворенных газов в воде, химическое загрязнение (в случае сброса загрязненного грунта), увеличение количества взвешенного органического и неорганического вещества. При значительных объемах сбрасываемого грунта, вследствие механического воздействия и удушья, в первую очередь гибнут мелкие организмы инфауны, прикрепленные и малоподвижные организмы эпифауны. Способность вертикальной миграции подвижных животных сквозь толщу сброшенного грунта зависит от толщины осадка и соответствия состава сброшенного грунта исходному состоянию грунта в районе. Среди моллюсков наиболее чувствительны к засыпанию представители эпифауны, которые, как правило, не выносят захоронения на глубину более 1 см. Двустворчатые моллюски, не имеющие сифонов, способны преодолеть слой осадка, близкого к исходному грунту, толщиной до 10 см. Виды, имеющие сифоны и развитую ногу, успешно выбираются с глубины 50 см. Среди полихет погребение на глубину 20-30 см переживают крупные виды с хорошо развитой глоткой и параподиями (некоторые способны преодолевать толщу грунта до 90 см). Для малоподвижных и мелких форм бентоса губителен слой осадка в 0,5 см [10].

Повышенное содержание взвеси в воде оказывает пагубное воздействие на донных ракообразных, в частности, бокоплавов и десятиногих раков, засоряя их жаберный аппарат. Часто это ведет к практически полному исчезновению ракообразных в районах осуществления дреджинговых операций. Фильтрующие гидробионты могут погибнуть от поглощения большого объема минеральной взвеси. Очень чувствительна к содержанию взвеси в придонных слоях воды молодь двустворчатых моллюсков.

Дреджинг при значительном фоновом загрязнении среды приводит к существенным сдвигам в донной фауне. Кроме того, происходит снижение разнообразия бентоса, связанное с заиливанием грунта. Восстановление исходной фауны не происходит, по крайней мере, в течение 4 лет после окончания работ.

В целом структура бентосных сообществ претерпевает следующие изменения. Элиминируются ракообразные, сокращается число видов и обилие моллюсков, в массе могут развиваться лишь некоторые виды червей (в исследованном районе — олигохе-

ты и *Marenzelleria spp.*). Усиливается степень доминирования ограниченного числа видов. Обычно это виды-оппортунисты, первыми развивающиеся в загрязненном месте и чутко реагирующие на органическое загрязнение. Общая численность и биомасса бентоса, как правило, существенно снижаются, в основном за счет сокращения обилия ракообразных и моллюсков. В условиях Финского залива в районах дреджинга прежде всего погибают ракообразные и моллюски, затем – хирономиды [10]. На участках дна с максимальными показателями концентрации взвеси (в частности, в центрах зон отвалов) выживают только олигохеты. Обилие олигохет может даже возрастать, так как они утилизируют органику, привносимую со сбрасываемыми грунтами. Биомасса олигохет в центре зоны отвала может быть выше исходной на 1-2 порядка величины, однако эти черви имеют гораздо меньшую пищевую ценность для рыб, чем хирономиды. В связи с тем что погибают наиболее крупные, но малочисленные организмы, в зонах с высокой мутностью численность зообентоса может лишь незначительно отличаться от фоновой, но биомасса снижается от 5 до 15 раз [3,9,10].

Количественная оценка экологических последствий дреджинга при его крупномасштабном проведении в ходе намыва новых территорий Санкт-Петербурга и свалке грунта в Невской губе и восточной части Финского залива показала, что состояние донных сообществ по окончании грунтовых работ соответствует оценкам от «посредственного» до «катастрофического» [1,2].

Рыбы. Связанное с дреджингом повышение содержания взвеси в придонных слоях воды оказывает пагубное воздействие на рыб, засоряя их жаберный аппарат. Воздействие проявляется также в снижении скорости роста рыб, эффективности их нереста, отклонениях в развитии икры и личинок. Из-за высокой мутности воды создаются помехи для естественных перемещений и миграций, уменьшается доступность пищи, ухудшается кормовая база. Исследования на водоемах северо-запада России (включая Финский залив) показали, что в местах работы земснарядов рыбы в 2-4 раза меньше, чем на контрольных участках [4,5]. Наиболее отрицательно воздействие сказывается на молоди рыб, часто приводя к ее гибели.

Птицы. Анализ сезонного распределения и типов активности птиц в восточной части Финского залива показывает, что для орнитофауны возникает два типа угроз. Во-первых, это возможное негативное влияние на местные популяции, а во-вторых – на мигрирующие в весенне-осенний период арктические виды, использующие острова и побережье залива как район отдыха и нагула.

Возможное влияние дреджинга на популяции гнездящихся морских птиц:

- эрозия берега в местах размножения водных и околоводных птиц, связанная с забором мягких грунтов в районе мелководий, и сокращение участков, пригодных для гнездования;
- прямые нарушения кормовых биотопов нырковых птиц и сборщиков-зондировщиков (обеднение макрофауны песчано-грязевых мелководий);
- косвенные нарушения кормовых биотопов нырковых и рыбадных птиц вследствие сокращения кормовой базы (см. выше) - в итоге район покидают бентосоядные нырковые и рыбадные птицы из группы резидентов.

Возможное влияние дреджинга на стоянки мигрирующих птиц:

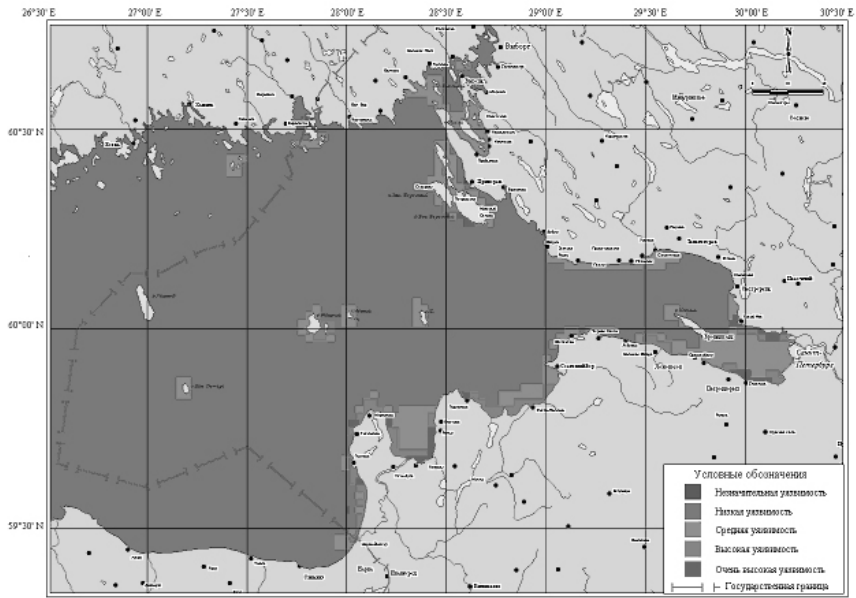
- беспокойство кормящихся и отдыхающих стай во время производства работ, в особенности вблизи архипелагов и банок (скопления птиц формируются на протяжении десятков часов, тогда как для их рассеивания достаточно одной-двух минут; при этом птицы обычно назад не возвращаются, а перемещаются по миграционному маршруту далее, что может влиять на последующую эффективность их кормежки, общее физическое состояние и устойчивость к стрессовым воздействиям);
- долговременные нарушения биоценозов дна и соответственно привычных мест кормежки;
- взмучивание и эвтрофикация воды, вызывающие долговременные перестройки водных сообществ и снижение уровня их продуцирования — в итоге из района исчезают рыбацкие птицы (большой баклан *Phalacrocorax carbo*, клуша *Larus fuscus*, все виды крачек *Sterna sp.*).

Морские млекопитающие в восточной части Финского залива представлены двумя видами тюленей — серым тюленем (*Halichoerus grypus*) и балтийским подвидом кольчатой нерпы (*Phoca hispida botnica*), которые встречаются здесь только в зимнее и весеннее время, а в период проведения дреджинговых работ (лето — осень) мигрируют к западу от о. Гогланд [6].

При построении карт интегральной экологической уязвимости использовали коэффициенты из табл. 1. Выбранные значения коэффициентов прямо пропорциональны чувствительности компонента к воздействию и обратно пропорциональны времени его восстановления после прекращения воздействия. Так, например, планктон в пятне мутности, вызванном дреджингом, может полностью погибнуть, но он быстро восстановится за счет подтока особей из других частей акватории. С другой стороны, донная фауна, изъятая с морского дна вместе со слоем донных отложений, или засыпанная грунтом при его сбросе в отвал будет восстанавливаться несколько лет. Значения весовых коэффициентов, кроме названных причин, обуславливаются также особенностями прямых и непрямых воздействий дреджинговых операций на элемент биоты. В частности, значения коэффициента, соответствующие единице, показывают относительную толерантность того или иного элемента биоты к рассматриваемому виду воздействия (морские млекопитающие). Значения «2» и «3» в большей степени показывают влияние непрямых эффектов (сокращение кормовой базы), а также возможность рассматриваемого элемента биоты избегать негативного воздействия (птицы). Значения «4» и «5» можно отнести к прямому воздействию (засорение взвесью жаберного аппарата рыб, особенно — малоподвижных мальков и молоди). Оценка «5» показывает, что негативное влияние оказывается критическим, приводит к гибели рассматриваемого элемента биоты и требует длительного периода его восстановления (например, водоросли и макрофиты в мутной воде слабо продуцируют, а будучи изъятые с грунта или им засыпаны — восстанавливаются крайне медленно).

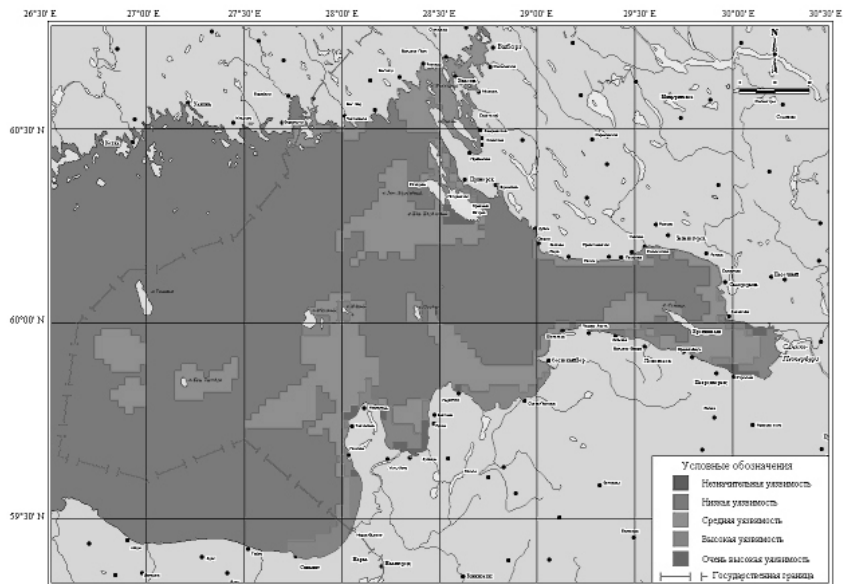
Результаты

Результатами картирования являются четыре карты потенциальной уязвимости восточной части Финского залива к подвижкам грунта (рис. 1, 2) и повышению уровня взвешенных веществ в воде (рис. 3, 4).



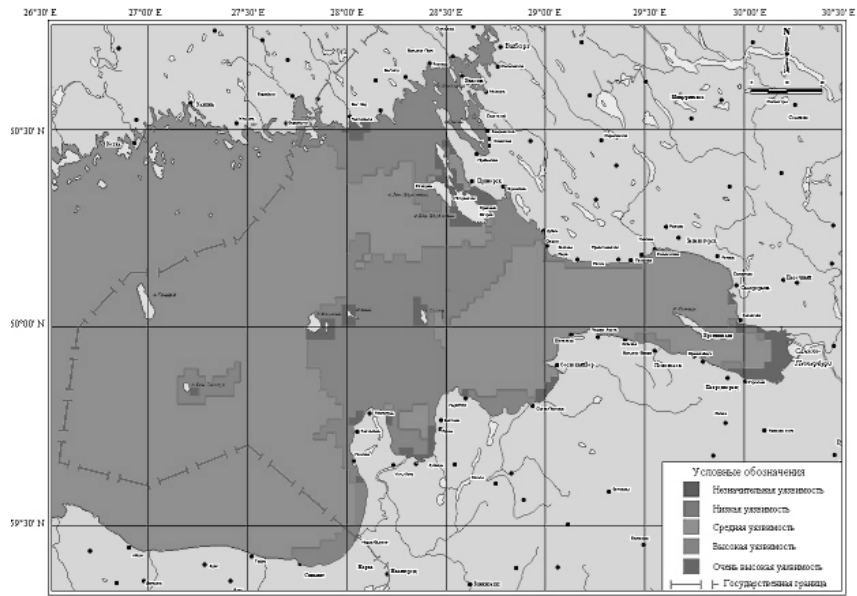
Лето

Рис. 1. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к извлечению и сбросу грунта в летний период.



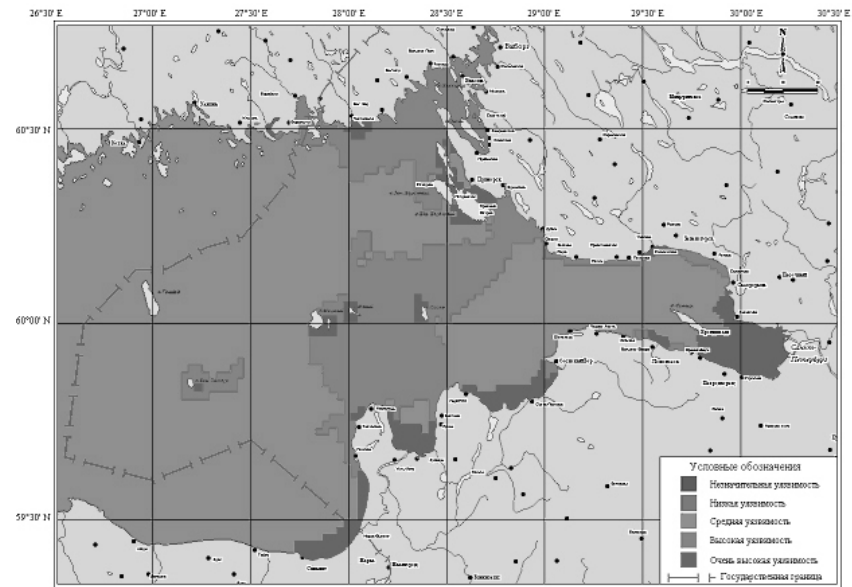
Весна

Рис. 2. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к извлечению и сбросу грунта в весенний период.



Лето

Рис. 3. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к повышению концентрации минеральной взвеси в летний период.



Весна

Рис. 4. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к повышению концентрации минеральной взвеси в весенний период.

По результатам проведенных исследований в качестве основных видов воздействия, связанных с дреджингом, выделены (1) прямые подвижки грунта (экскавация и сброс в отвалы) и (2) увеличение количества взвеси в воде. По степени уязвимости к изъятию грунта и его сбросу рассмотренные компоненты прибрежных экосистем располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, донные беспозвоночные > рыбы (икра, мальки) > рыбы (взрослые особи) > прибрежные сосудистые растения, птицы > планктон, водные млекопитающие. По степени чувствительности к увеличению количества взвеси в воде группы организмов располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, икра и мальки рыб > зоопланктон, взрослые рыбы > фитопланктон, донные беспозвоночные, птицы > морские млекопитающие > прибрежные сосудистые растения.

Общий анализ построенных карт-схем показал, что уязвимость восточной части Финского залива к взвеси более высока, чем собственно к изъятию грунта и его сбросу в отвалы. Кроме того, к обоим видам техногенного воздействия чувствительность акватории весной выше, чем летом. В весенний период, относительно летнего, на картах расширились зоны очень высокой и высокой уязвимости. На эти зоны приходится побережья, акватории бухт у входов в нерестовые реки, места скопления производителей перед заходом в реки и концентраций молоди рыб после ската из нерестовых рек в море.

Уязвимость восточной части Финского залива к подвижкам грунта при проведении дреджинговых работ варьирует от низкой до очень высокой. Наиболее уязвимы участки северного побережья Невской губы от поселка Лисий Нос до Лахтинского разлива, южного побережья Невской губы в районе Петродворца – Стрельны, южной части острова Большой Березовый, мелководья между островами Мощный и Малый, в юго-восточной части Лужской губы. Такое распределение уровней уязвимости обусловлено концентрацией водных и околородных организмов на указанных участках и особенностями их реакции на воздействие рассматриваемого стресс-фактора.

Общий уровень уязвимости к подвижкам грунта - ниже среднего. Участки наиболее высокой чувствительности обусловлены суммарной уязвимостью одновременно нескольких биотических компонентов (водорослей, донных беспозвоночных, мальков рыб). Высокая уязвимость прибрежных участков акваторий Невской и Лужской губ обусловлена нерестовым периодом у таких видов рыб, как корюшка (*Osmerus eperlanus*), окунь (*Perca fluviatilis*), сиг (*Coregonus lavaretus*), плотва (*Rutilus rutilus*), районы нереста (или нерестовых миграций) которых приходится на эти прибрежные участки.

По отношению к взвеси большую часть акватории восточной части Финского залива можно охарактеризовать как высоко уязвимую. Общий уровень уязвимости – средний и выше среднего. Разница между весенним и летним распределениями потенциальной уязвимости к повышенному содержанию взвеси достигается за счет сокращения нерестовых площадей рыб от весны (когда уязвимость выше) к лету.

Обсуждение

Использованная система картирования имеет своей целью наглядно демонстрировать уязвимость природной среды к антропогенным нагрузкам. С точки

зрения пользователя подобных карт она достаточно проста, доступна для интерпретации результатов и способствует эффективному принятию экологически обоснованных решений.

Основным недостатком подхода видится «ориентировочность», или «приблизительность», весовых коэффициентов применительно к эффектам от дреджинговых операций: значения коэффициентов не учитывают количественные значения концентрации взвеси в воде. Между тем в зависимости от того, насколько концентрация взвеси будет превышать ее фоновое содержание, можно ожидать различных по своему действию эффектов. Так, например, небольшое превышение количества взвеси и поступление с ней питательных веществ может привести не к угнетению фитопланктона, а, наоборот, к его интенсивному развитию.

Ограничения на применение предложенной методики:

- результат оценки уязвимости не учитывает вероятность возникновения аварийных ситуаций;
- разработанный подход ориентирован на конкретные виды воздействия;
- результат оценки не учитывает экономические эффекты, потери и ущербы.

В последнее время в рамках проекта BRISK (Sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea), инициированного HELCOM (<http://www.brisk.helcom.fi/>), обсуждается методика построения карт уязвимости для Балтийского моря, в которой участвуют авторы настоящей статьи. Договориться о едином методологическом подходе к картированию уязвимости специалистам из разных стран, скорее всего, удастся. В настоящее время во многих странах он сходен и в наиболее прогрессивных вариантах состоит в картировании распределения экологически наиболее важных объектов по сезонам и суммировании построенных карт в ГИС. Более трудным окажется достижение консенсуса относительно ранжирования объектов, используемых для картирования, по приоритетности. Вопрос о коэффициентах, которые будут присвоены отдельным объектам в процессе создания интегральных карт уязвимости, потребует специального обсуждения (и едва ли не голосования). Нет сомнений, однако, что в конечном итоге специалисты найдут способ прийти к консенсусу.

Заключение и выводы

По результатам проведенных исследований, связанных с дреджингом, в качестве основных видов стрессового воздействия на экосистемы выделены (1) прямые подвижки грунта (экскавация и сброс в отвалы) и (2) увеличение количества взвеси в воде.

По степени уязвимости к изъятию грунта и его сбросу рассмотренные компоненты прибрежных экосистем располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, донные беспозвоночные > рыбы (икра, мальки) > рыбы (взрослые особи) > прибрежные сосудистые растения, птицы > планктон, водные млекопитающие. По степени чувствительности к увеличению количества взвеси в воде группы организмов располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, икра и мальки рыб > зоопланктон, взрослые рыбы > фитопланктон, донные беспозвоночные, птицы > морские млекопитающие > прибрежные сосудистые растения.

Общий анализ построенных карт-схем показал, что уязвимость восточной части Финского залива к взвеси более высока, чем собственно к изъятию грунта и его сбросу в отвалы. Кроме того, к обоим видам воздействия чувствительность акватории весной выше, чем летом.

По отношению к взвеси большую часть акватории восточной части Финского залива можно охарактеризовать как высоко уязвимую.

Наиболее неблагоприятное воздействие от подвижек грунта испытывают донные беспозвоночные: в зоне производства работ происходит прямая гибель донной фауны.

В зонах подводных отвалов грунта структура бентосных сообществ претерпевает следующие изменения. Элиминируются ракообразные, сокращается число видов и обилие моллюсков, в массе могут развиваться лишь некоторые виды червей (в исследованном районе — олигохеты и *Marenzelleria spp.*). Усиливается степень доминирования ограниченного числа видов-оппортунистов. Общая численность и биомасса бентоса, как правило, существенно снижаются, в основном за счет сокращения обилия ракообразных и моллюсков. В условиях Финского залива в районах дреджинга прежде всего погибают ракообразные и моллюски, затем — хирономиды.

Рекомендации

При проведении дреджинговых работ особое внимание следует обратить на нарушение условий нерестовых миграций рыб из-за повышения содержания взвеси в воде. При анализе ущерба рыбным запасам нарушение нерестового хода причиняет самый большой по величине ущерб. В данной работе предложено учесть в качестве особо уязвимых районов не только места размещения нерестилищ, но и зоны подхода рыб к нерестовым рекам, а также районы концентрации молоди.

Сроки проведения дреджинга не должны совпадать со временем нереста рыб и нагула молоди. Если проводить все гидротехнические работы с учетом времени запрета, включающего периоды весеннего и осеннего нереста и соответствующих миграций, можно избежать влияния повышенной мутности и перемещения грунта на рыб.

Литература

1. Волнина О.В. Оценка геоэкологической ситуации в районах подводных отвалов грунта в восточной части Финского залива. / Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 172-186.
2. Голубев Д.А., Зайцев В.М., Клеванный К.А., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов, М.А., Шилин М.Б. Комплексные экологические исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и в восточной части Финского залива // Инженерные изыскания, 2010, № 5, с. 36-42.
3. Лаврентьева Г.М., Суслопарова О.Н., Богданов Д.В., Волхонская Н.И., Лебедева О.В., Максимова О.Б., Мицкевич О.И., Огородникова В.А., Терешенкова Т.В., Яковлев А.С. Десятилетние итоги рыбохозяйственного мониторинга, выполнявшегося в Невской губе и сопредельных акваториях Финского залива с целью оценки воздействия гидротехнических работ на гидробионтов // 6-я международная конференция и выставка AQUATERRA. — СПб., 2003, с. 113-116.
4. Погребов В.Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования. Т. 2 / СПб.: Изд. РГГМУ, 2010, с. 43-80.
5. Погребов В.Б., Саитов Р.А., Дмитриев Н.В. Природоохранный атлас Российской части Финского залива. — СПб.: Тускарора, 2006. — 60 с.
6. Шилин М.Б. На Балтику за тюленями // Катера и яхты, 2011, № 3 (231), с. 118-121.

7. *Pogrebov V.B.* Environmental Impact Assessment (EIA) of the iron-manganese nodules extraction from the seabed of the Gulf of Finland on its biological resources // Eco-friendly Dredging in the Modern World. International Seminar on Sustainable Dredging and Marine Construction. St. Petersburg, 2009. On-line: http://www.cedaconferences.org/documents/dredgingconference/html_page/12/p-4.2-pogrebov.pdf
8. *Shilin M.B.* Ecological vulnerability of ecosystems of the strait Bjorkezund // Russ. And EU experience in the field of Integrated Coastal Zone Management / St. Petersburg – Primorsk, 2005 (The Russian Universities Publishing and Polygraphic . ass.): p. 63-66.
9. *Shilin M.B., Averkiev A.S., Mamaeva M.A., Volnina O.V., Laboyrie P., Csiti A.* Studying and teaching environmental aspects of dredging // 50 years of Education and Awareness Raising for Shaping the Future of the Oceans and Coasts / SPb, 2010, p. 122-124.
10. *Shilin M., Lukjanov S., Zhakova L., Mamaeva M., Lednova J.* Assessing the status and trends of the coastal ecosystems in the dredging material deposit areas // 8th Baltic sea Science Congress / SPb, 2011, p. 221.