УДК [001.891:378.4] +627:[574.5:556.54] (282.247.21) doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370

Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ

М.Б. Шилин[1], В.И. Сычев[2], В.Л. Михеев[1], Е.П. Истомин[1], Ю.А. Леднова[3], С.В. Лукьянов[1], В.М. Абрамов[1]

[1] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, shilin@rshu.ru

[2] Межправительственная Океанографическая комиссия ЮНЕСКО

[3] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

Обобщены результаты многолетних комплексных наблюдений сотрудников РГГМУ за формированием и развитием техносферы в береговой зоне Невской губы и за ее воздействием на прибрежные биологические сообщества. Для изучения пространственной и временной изменчивости состояния Невской губы и ее прибрежной зоны под влиянием процессов седиментации и техногенного воздействия использованы спутниковые данные высокого и среднего разрешения. По результатам исследований построена карта интегральной экологической уязвимости Невской губы по отношению к гидротехническим работам и перемещению донного грунта — дреджинга. Информация об установленных уровнях экологической уязвимости различных участков акватории Невской губы может быть использована в интересах морского пространственного планирования.

Ключевые слова: Невская губа, техносфера, гидротехническое строительство, дреджинг, донные осадки, экологическая уязвимость.

Results of investigations of the Neva Bay technosphere at RSHU

M.B. Shilin[1], V.I. Sychev[2], V.L. Mikheev[1], Y.P. Istomin[1], Yu.A. Lednova[3], S.V. Luk'yanov[1], V.M. Abramov[1]

[1] Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

[2] Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO

[3] Peter the Great Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

The article summarizes the results of the long-term complex observations of formation and development of the technosphere in the coastal zone of the Neva Bay and its impact on coastal hydro-biological communities by RSHU scientists. Natural and administrative borders of the Neva Bay are described and discussed. Evolution of the Neva Bay from «natural geosystem» to the «natural-and technical system» is monitored and analyzed. Peculiarities of coastal biological communities are presented. Anthropogenic stress-factors connected with hydrotechnical construction and dredging with high level of negative influence on coastal ecosystems are revealed. The program of original complex research of the functioning of the coastal «natural-and technical system» is proposed. Areas of hydrotechnical and dredging projects and parallel environmental monitoring in the Neva Bay are mapped. Artificially reclaimed coastal territories are recognized as core elements (knots) of the coastal technosphere of the Neva Bay. Anthropogenic macro-objects constructed on these areas, such as ports, business centers, elements of logistic structure, and recreational areas are observed from the «sustainable development» point of view. The effects of technosphere on abiotic and biotic components of coastal ecosystems are shown. To study the spatial and temporal variability of the state of the Neva Bay and its coastal zone under the influence of sedimentation processes and man-made impacts, high- and medium-resolution satellite data have been used. Some results from satellite

observations are compared and discussed. Based on the research results, a map of the integral ecological vulnerability of the Neva Bay in relation to hydrotechnical works and dredging has been constructed. Information about the established levels of environmental vulnerability of various sections of the Neva Bay water area can be used for the benefit of marine spatial planning. Methods and technologies of compensatory measurements are compared and discussed in order to find optimal actions. Organizing of nature protection areas is recommended as a complex method for the support of the coastal zone sustainable development.

Keywords: Neva Bay, coastal technosphere, hydrotechnical construction, dredging, bottom sediments, environmental sensitivity.

For citation: *M.B. Shilin, V.I. Sychev, V.L. Mikheev, Y.P. Istomin, Yu.A. Lednova, S.V. Luk'yanov, V.M. Abramov.* Results of investigations of the Neva Bay technosphere at RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020, 60: 351—370. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370

Введение

Невская губа — верхний эстуарий Невы, наибольшей по расходу воды реки бассейна Балтийского моря (в устье в среднем 2530 м^3/с) [1], — представляет собой полузамкнутый мелководный водоем со средней глубиной 3,5—4 м. Площадь водного зеркала губы составляет около 329 км^2. Дно преимущественно песчаное и плоское. Низкая соленость воды (менее 1 ‰) позволяет считать Невскую губу пресноводным объектом [1—2].

Берега Невской губы на большем своем протяжении урбанизированы. Основанный в 1703 г. в дельте Невы Санкт-Петербург, постепенно расширяя свои границы, к настоящему времени охватил все побережье Невской губы и представляет собой крупнейший в Балтийском регионе мегаполис, численность населения которого превышает 5 млн жителей [1, 3, 4].

Восточной естественной границей губы является бар реки Невы, представляющий собой систему отмелей, расчлененных ложбинами — фарватерами. На бытовом уровне восточной границей, условно отделяющей Невскую губу от Невы, исторически считается Вознесенский мост. С запада губа отграничена от восточной части Финского залива «дамбой» Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС). Официальное введение КЗС в рабочий режим 12 августа 2011 г. фактически ознаменовало преобразование Невской губы из естественного пресноводного водоема в природно-техническую систему (ПТС), в которой вещественно-энергетические потоки в значительной степени управляются путем оперирования водо- и судопропускными сооружениями [5, 6].

Основными компонентами биологических сообществ Невской губы являются: фитопланктон, зоопланктон, макрофиты (рдесты, стрелолист, тростники, камыши, рогоз, макроводоросли), донные беспозвоночные (бентос), рыбы и рыбообразные (ерш, судак, окунь, плотва, уклея, лещ, трехиглая колюшка, ерш, речная и морская миноги и др.), водно-болотные птицы (лебеди, морские и речные утки, лысухи, поганки, чайки, кулики) и околоводные млекопитающие (норка) [7—11].

Невская губа является рыбохозяйственным водоемом высшей категории. В зависимости от критериев характеристики ихтиофауны она может быть отнесена к водоемам «карповым» (по видовому разнообразию различных групп рыб)

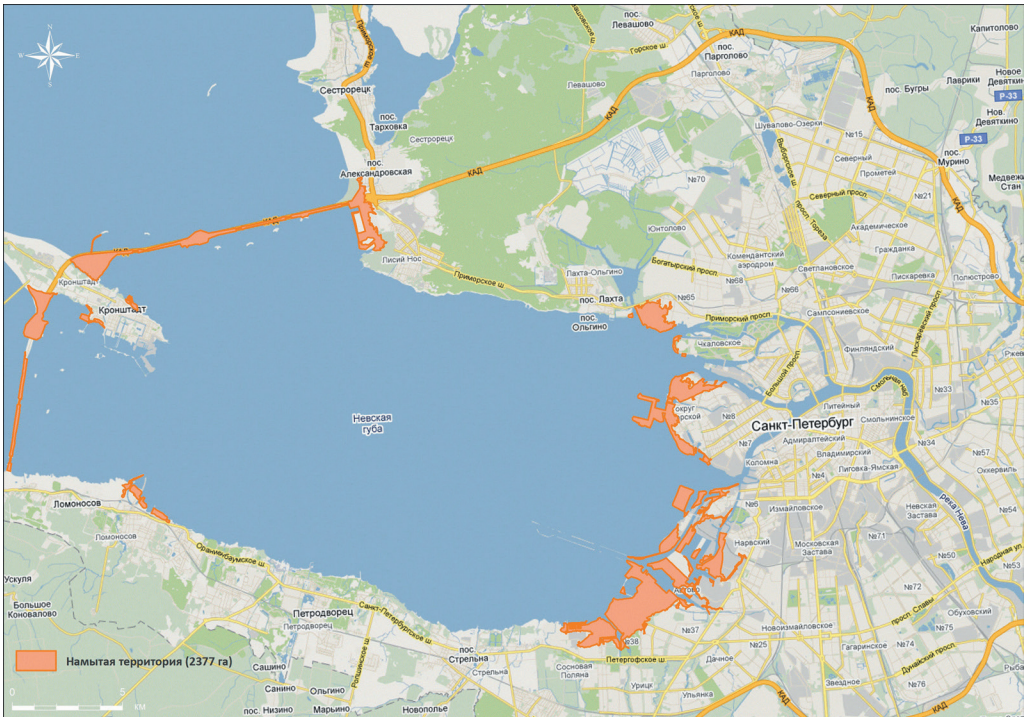
и/или «лососево-сиговым» (по наличию наиболее ценных промысловых видов). Сравнительная мелководность Невской губы, хороший прогрев воды и наличие на побережье «пятен» зарослей водной растительности создают благоприятные условия для развития и нагула рыб. Наличие нерестилищ и продуктивных пастбищ для молоди рыб позволяет считать Невскую губу природным рыбопитомником. Губа служит основным местом размножения большинства частиковых рыб и корюшки. Подросшая молодь пополняет запасы промысловых рыб как в самой губе, так и в восточной части Финского залива в целом: здесь воспроизводится до 98 % запасов девятииглой колюшки, 88 % чехони, 82 % ерша, 74 % трехиглой колюшки, 65 % плотвы, 50 % окуня, 40 % судака, 38 % леща [7—9].

К основным видам антропогенного воздействия на биологические сообщества Невской губы могут быть отнесены: гидротехнические работы и дноуглубление; химическое загрязнение водной среды органическими и неорганическими соединениями; перелов рыбы; развитие транспортного сообщения и туризма; добыча полезных ископаемых (песка); строительство берегозащитных сооружений; сезонное рыболовство и охота; сезонная рекреационная нагрузка; военная деятельность. Наиболее выраженное стрессовое воздействие на гидробионтов оказывают гидротехнические работы, прежде всего дноуглубление, перемещение грунта (дреджинг) и его сброс в подводные отвалы.

В результате интенсивной антропогенной деятельности в Невской губе к настоящему времени образовалась береговая техносфера, основными компонентами которой являются портовые сооружения с подходными путями и фарватерами и искусственно сформированные прибрежные территории. Доля последних в ПТС Невской губы постоянно увеличивается (рис. 1).

На искусственно сформированных территориях в Невской губе размещены антропогенные макрообъекты — Большой порт и Морской фасад Санкт-Петербурга, аванпорт Бронка, Лахта-Центр, многофункциональный комплекс жилищного и делового назначения «Балтийская жемчужина», элементы инфраструктуры Газпром-Арены и др. Во время реализации гидротехнических / дреджинговых проектов по формированию искусственных территорий для размещения на них техносферных макрообъектов, сопровождавшейся сбросом больших объемов извлеченного грунта в подводные отвалы Северной и Южной Лахты [11—13], значительное число экологически ценных прибрежных местообитаний было частично или полностью разрушено, и в частности заросли прибрежно-водной растительности («плавни»), в естественных условиях использовавшиеся рыбами и птицами в качестве мультифункциональных биотопов.

Быстрое изменение геоэкологической ситуации в береговой зоне Невской губы укладывается в общую картину «береговой революции», заключающейся в техногенном развитии и экономическом росте прибрежных поселений с развивающейся или уже развитой портовой инфраструктурой и соответствующим увеличением грузо- и пассажироперевозок водными видами транспорта, увеличении численности населения, объемов сельскохозяйственного и промышленного производства. Развивающаяся антропогенная деятельность приводит к изменению естественных ландшафтов, трансформируя их и оказывая стрессовое воздействие


Намытая территория (2377 га)
Невская губа
Санкт-Петербург
Кронштадт
Сестрорецк
Ломоносов
Петродворец
Лахта
Ольгино
Сашино
Ораниенбаумское ш
Санкт-Петербургское ш
Приморское ш
Петергофское ш
Выборгское ш
Горское ш
Пискаревский просп
Большой просп
Приморский просп
Богатырский просп
Северный просп
Дачный просп
Обуховский
Пулковская
Невская Заставка
Невская Заставка
Нарвская ул
Ораниенбаумское ш
Ускуля
Большое Коновалово
Пос. Низино
Марьино
Новополье
Пос. Стрельна
Стрельна
Сосновая Поляна
Урицк
Ульянка
Дачное
Новоизмайловское
Гагаринское
Звездное
Московская Застава
Нарвский
Измайловское
Адмиралтейский
Владимирский
Коломна
Пушкинская
Пулковская
Пулковская
Пулков

Характеристика материала и методов исследований

Комплексные исследования береговой техносферы Невской губы и ее воздействия на прибрежные биологические сообщества проведены в период с 2000 г. по настоящее время в ходе мониторинга гидротехнических портостроительных и дреджинговых работ [8—15]. Заказчиками проведенных мониторинговых исследований в разные годы были Комитет по науке и высшей школе администрации Санкт-Петербурга, Комитет по природопользованию Санкт-Петербурга, Департамент Росприроднадзора по СЗ ФО, ОАО «Ленморинииипроект», ФГУ «Балттехмордирекция», ООО «Трансбункер-Кировец», Экоцентр МГУ, ФГУП ВСЕГЕИ, ООО «Лаборатория подводных исследований», ООО «Эко-Экспресс-Сервис», ООО «СК АвтоДор», ООО «АРС Экологический инжиниринг», ООО «Балтпромер». Часть исследований выполнена в рамках ФЦП «Интеграция науки и высшего образования России на 2002—2006 годы» и проекта «Экологически дружественный порт» Программы трансграничного сотрудничества «Россия — Юго-Восточная Финляндия» (2013—2015 гг.).

Разработанный авторским коллективом экспертов РГГМУ типовой комплекс мониторинговых исследований гидротехнических и дреджинговых проектов включает в себя следующие виды работ: гидрологические исследования — инструментальные измерения характеристик течений, морского волнения, температуры, солености и прозрачности воды; гидрохимические исследования, основанные на химическом анализе проб воды с поверхностных и придонных горизонтов; геоэкологические исследования на основе химического и гранулометрического анализа проб поверхностных донных отложений, а также комплексной геофизической съемки; гидробиологические исследования состава и численности гидробиоты (фито- и зоопланктон, бентос, ихтиофауна); геоботанические исследования — состояние водной и прибрежной растительности; ландшафтные исследования — геоморфология берегов и литодинамика подводного берегового склона; орнитологические исследования в период миграций и гнездования водно-болотных птиц.

Для получения обобщенной визуализированной информации использовались данные спутниковых приборов в пределах оптического спектрального диапазона разных масштабов: 0,4—0,5; 0,5—0,6; 0,7—1,3; 8—12 мкм. Динамика абиотической среды оценивалась путем анализа спутниковых снимков, целесообразность использования которых обусловлена возможностью одновременного информационного охвата всей акватории или ее крупных частей с периодичностью в несколько дней. Результаты дешифрирования, подтвержденные данными контактных наблюдений, позволили получить пространственно-временные изменения гидроэкологических характеристик акватории и береговой зоны.

Динамика гидробиологических сообществ оценивалась по результатам многолетних мониторинговых наблюдений за изменением их основных структурных показателей — численности и биомассы. Для оценки риска причинения ущерба биологическим сообществам применялся интегральный показатель экологической уязвимости, характеризующий вероятность попадания в зону воздействия

гидротехнических работ особо ценных биологических объектов и степень их чувствительности по отношению к подвижкам грунта и увеличению мутности.

Чувствительность разных групп организмов к перечисленным видам антропогенного воздействия оценивалась в баллах (1 балл — наименьшая чувствительность, 5 баллов — наибольшая чувствительность) на основе экспертных заключений [8, 11]. Балльная оценка учитывает не только чувствительность отдельных групп организмов к различным воздействиям, но и тяжесть последствий этих воздействий для популяций с учетом потенциала восстановления численности. Потенциал восстановления численности обусловлен особенностями экологии видов (прежде всего, диапазоном толерантности по отношению к различным факторам среды) и репродуктивными возможностями, свойственными разным группам растений и животных.

Интегральная уязвимость различных участков акватории Невской губы определялась на основе оценок (баллы) чувствительности отдельных групп организмов:

1) по отношению к повышенной концентрации взвеси: фитопланктон — 3 балла, зоопланктон — 3, макрофиты — 2, бентос — 4, рыбы (икра, мальки) — 5, рыбы (взрослые особи) — 4, птицы — 3, млекопитающие — 2;

2) по отношению к дноуглублению и перемещению грунта: фитопланктон — 1 балл, зоопланктон — 1, макрофиты — 5, бентос — 5, рыбы (икра, мальки) — 4, рыбы (взрослые особи) — 3, птицы — 2, млекопитающие — 1.

На основе суммирования балльных оценок на исследуемой акватории выделялись участки с пятью различными уровнями интегральной экологической уязвимости: «незначительная уязвимость», «низкая уязвимость», «средняя уязвимость», «высокая уязвимость» и «очень высокая уязвимость». Выделенные участки нанесены на карту, что позволяет учесть эту информацию при планировании марихозяйственной деятельности.

Результаты исследований

1. Воздействие техносферы на абиотическую среду

Воздействие КЗС на гидродинамику вод в Невской губе началось уже на этапе строительства «дамбы», до введения комплекса в эксплуатацию. Так, летом 2001 г. нами было отмечено довольно редкое явление начала движения клина относительно холодной и соленой воды через судопропускное сооружение С-1 недостроенной тогда «дамбы» на главном фарватере. Во время наблюдений на расстоянии несколько сотен метров разность температуры воды в придонном слое достигала почти 7 °С, а разность солености превышала 2 ‰. При этом скорость движения придонного плотностного клина на восток (против стока Невы) составляла 42 см/с.

В 2006—2008 гг., одновременно с продолжившимся строительством КЗС, в восточной части губы интенсивное гидротехническое строительство было развернуто при сооружении Морского фасада Санкт-Петербурга и масштабных работах по созданию новых территорий с использованием технологии гидронамыва, а

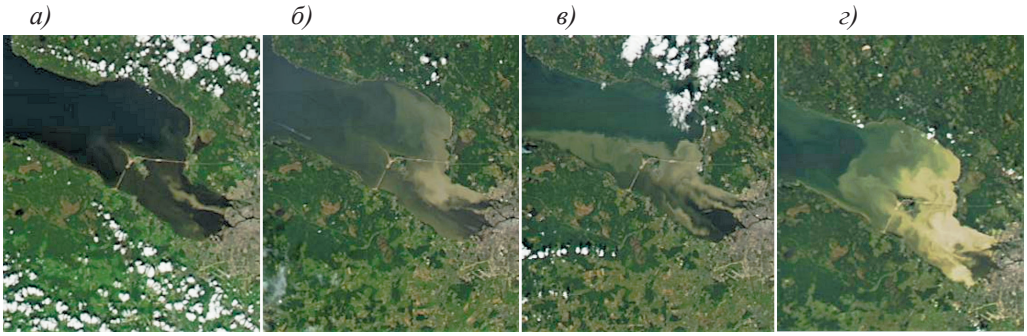


Рис. 2. Перенос взвешенных минеральных веществ в восточной части Финского залива по данным Terra/MODIS с пространственным разрешением 250 м в 2006 г.

а — 24 июня, *б* — 14 июля, *в* — 6 августа, *г* — 11 сентября.

Fig. 2. Suspended mineral materials distribution in the Eastern Gulf of Finland, according to Terra/MODIS data with a spatial resolution of 250 m, in 2006.

а — June, 24, *б* — July, 14, *в* — August, 6, *г* — September, 11.

также при строительстве пассажирского портового терминала и углублении фарватеров. Изъятый при дноуглублении грунт складировался в подводные отвалы Северной и Южной Лахты.

В результате антропогенных изменений седиментационных процессов к 2007 г. песчаные мелководья северной береговой зоны Невской губы покрылись тонкозернистыми техногенными осадками. На рис. 2 приведен пример переноса взвешенных минеральных веществ в восточной части Финского залива 12 сентября 2006 г. по данным прибора Terra/MODIS с разрешением 250 м. Увеличение содержания взвеси в воде было связано с одновременным осуществлением работ по намыву новых территорий, дноуглублению в пределах фарватеров и сбросу грунта («дреджингового материала») в отвалы Южной и Северной Лахты.

В 2005—2008 гг. в отвалы Северной и Южной Лахты было сброшено 21,39 млн м^3 грунта, изъятого при реконструкции фарватеров вблизи восточных берегов Невской губы и при реализации проекта «Морской фасад Санкт-Петербурга» (в 2005 г. — 1,23 млн м^3; в 2006 г. — 12,20 млн м^3; в 2007 г. — 7,53 млн м^3; в 2008 — 0,43 млн м^3) [16]. Сброс грунта производился с помощью пульпопроводов, оборудованных специальными рассеивателями для равномерного распределения сбросов по площади. Это более экономичный способ, чем перевозка баржами [17], но менее приемлемый с точки зрения ущерба, причиненного экосистеме именно данного района, который является транзитной зоной эстуария Невы. Взмученные легкие фракции глинистого грунта распространялись со шлейфами мутных вод далеко от зоны сброса, поэтому зона рассеяния на порядки превышала площадь отвалов. Высокие значения концентрации взвешенных осадков наблюдались по спутниковым данным на расстоянии более 100—120 км от источников их образования. Особо выделялся шлейф в отвале Северной Лахты в 2006 г., когда сброс при строительстве Морского фасада достигал максимальных объемов.

В настоящее время дно Невской губы полностью антропогенно трансформировано и фактически является хаотичной мозаикой из мелководий, подводных возвышенностей и искусственно сформированных каньонов (в основном вследствие извлечения значительных объемов песка). В изначально мелководных отвалах Северной и Южной Лахты появились зоны переполнения (уменьшения глубины менее проектной отметки), которые могут представлять собой опасность для судоходства. В районах отвалов грунта количественные показатели макрозообентоса чрезвычайно низкие, естественная сукцессия сообществ нарушена. В целом районы отвалов следует характеризовать как низкопродуктивные и малокормные для рыб-бентофагов.

Наряду с сооружением Морского Фасада в 2010—2011 гг. завершались работы в районе южного створа КЗС и началось строительство аванпорта «Бронка». На рис. 3 представлены этапы сооружения КЗС, а восточнее его южного створа — строительства нового порта.

Спутниковые данные показали, что в этой части акватории масштабы загрязнения минеральной взвесью также были очень велики (рис. 4).

В декабре 2013 г. аванпорт был подключен к кольцевой автодороге. В 2015 г. состоялся ввод в эксплуатацию первой очереди порта. Снимки Landsat-8 от 17 мая и 2 июля (на врезке) 2015 г. с разрешением 30 м (см. рис. 4) иллюстрируют поведение шлейфа мутных вод во время продолжения строительства этого объекта.

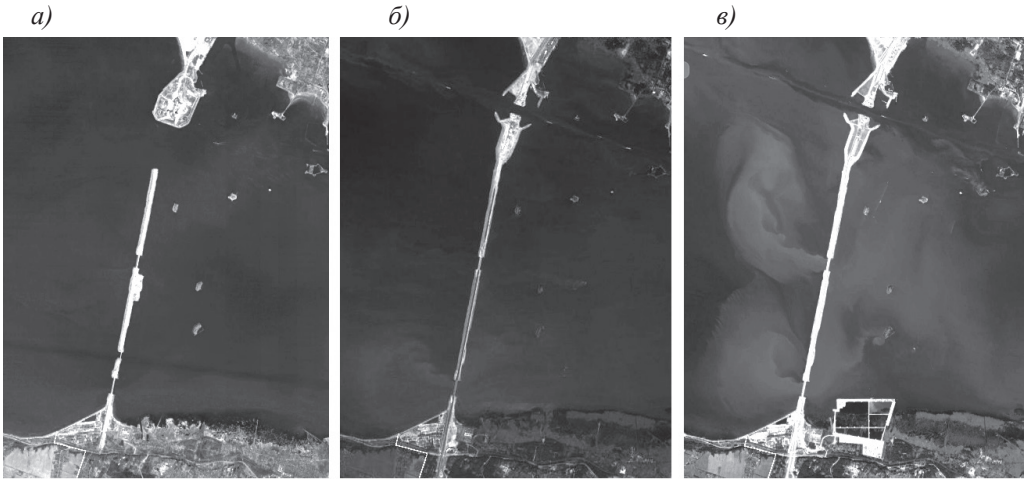


Рис. 3. Этапы сооружения КЗС по спутниковым данным высокого разрешения (Image DigitalGlobe).

а — 26 апреля 2004 г., *б* — 18 июля 2010 г., *в* — 27 июля 2013 г.

Fig. 3. Construction stages of the FPFC according to high-resolution satellite data (Image DigitalGlobe).

а — April, 26, 2004, *б* — July, 18, 2010, *в* — July, 27, 2013.

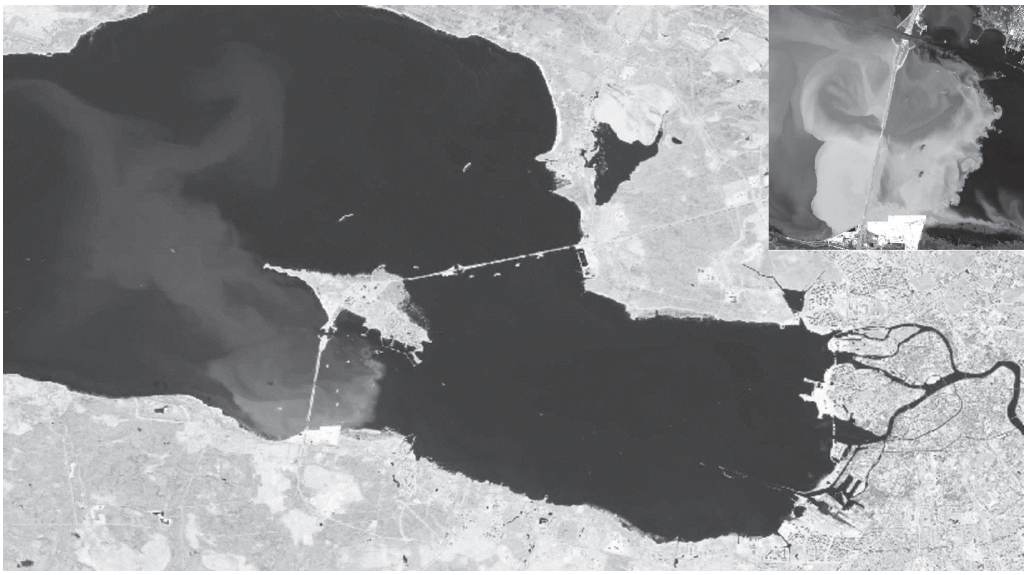


Рис. 4. Распространение шлейфа мутных вод во время строительства аванпорта «Бронка» на снимках Landsat-8 Oli от 17 мая и 2 июля (увеличенный фрагмент на врезке) 2015 г. с пространственным разрешением 30 м.

Fig. 4. Distribution of the turbidity water plume during construction of the avanport «Bronka» in Landsat-8 Oli images from May, 17 and July, 2, 2015 (with an enlarged fragment in the inset) with a spatial resolution of 30 m.

Одним из традиционных мест отдыха петербуржцев в последние годы стал искусственный пляж парка им. 300-летия Санкт-Петербурга, заложенный в 1995 г. К 2003 г. было закончено его берегоукрепление. Весной 2016 г. внимание общественности и средств массовой информации привлекла к себе проблема размыва пляжа после серии декабрьских штормов 2015 г. Пляж находится к востоку от Лахтинского разлива в береговой зоне, которая на протяжении последних 200 лет характеризовалась активной литодинамикой в подводной части. С 1960-х по 1990-е годы здесь производилась добыча песчаного материала, прежде всего с целью создания новых территорий методом гидронамыва. В результате этих работ рельеф дна непосредственно перед современным парком 300-летия Санкт-Петербурга был полностью трансформирован: на значительной площади образовались подводные карьеры глубиной до 10—12 м, разделенные отдельными останцами ненарушенного рельефа, глубина над которыми не превышает 1—2 м (рис. 5). Подобная структура подводного ландшафта не способствует устойчивости береговой линии пляжа парка. Ее отступление за период с 2006 по 2019 г. по данным дистанционного зондирования составило от 32 до 72 м, а скорость ежегодного размыва достигает 3—6 м/год.

В пределах городской черты Санкт-Петербурга на намытой береговой территории к настоящему времени построено здание Лахта-Центра, что полагают важным фактором развития инфраструктуры города (рис. 6). Участок находится

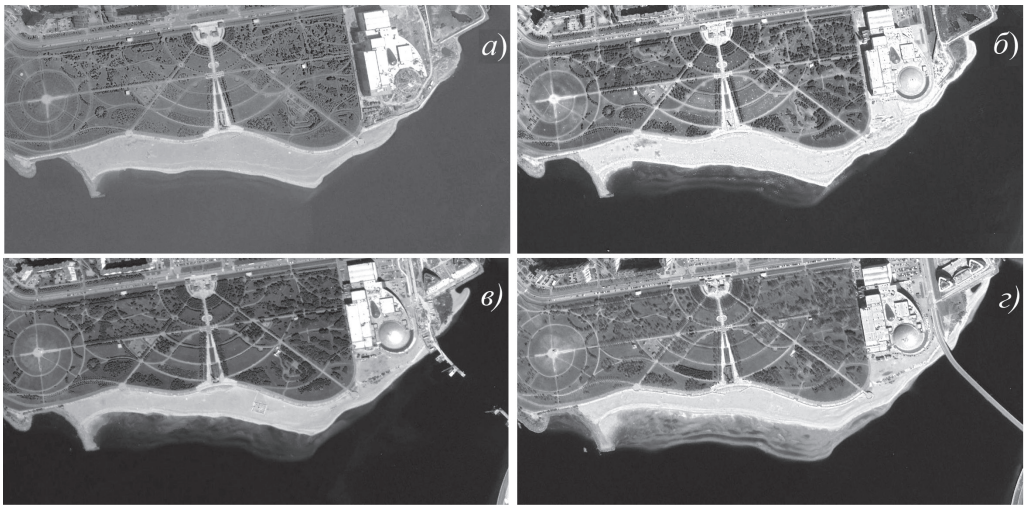


Рис. 5. Спутниковые снимки района парка 300-летия Санкт-Петербурга (Image DigitalGlobe).

а — 22 июня 2009 г., *б* — 22 июня 2013 г., *в* — 12 августа 2016 г., *г* — 28 апреля 2019 г.

Fig. 5. Satellite images of the area of the Park of 300 Years of St. Petersburg (Image DigitalGlobe).

а — June, 22, 2009, *б* — June, 22, 2013, *в* — August, 12, 2016, *г* — April, 28, 2019.

Рис. 6. Здание Лахта-Центра на намытой береговой территории; слева пляж парка 300-летия Санкт-Петербурга.

Fig. 6. The building of the Lakhta-Center on the reclaimed area; on the left side — beach of the park of the Park of 300 Years of St. Petersburg.

в пределах искусственно сформированной методом намыва и подсыпки грунта береговой территории. Береговая полоса, являющаяся южной границей участка, имеет искусственное (антропогенное) происхождение и укреплена каменными валунами, в основании которых уложены бетонные блоки. Валунно-глыбовая отсыпка в настоящее время предотвращает размыв и отступание берега у Лахта-Центра, однако резко снижает его рекреационный потенциал и эстетическую ценность.

Сравнение результатов спутниковой съемки рассматриваемого участка в 2009 г. (до введения в эксплуатационный режим КЗС), в 2015 и 2019 гг. (после начала функционирования КЗС) позволяет сделать заключение об относительной стабильности береговой линии (рис. 7). По результатам данных спутников высокого разрешения сервиса Google Earth значительных смещений береговой линии в последнее время не произошло.

В настоящее время техногенная нагрузка на Невскую губу продолжает оставаться высокой. Это обусловлено изолирующим воздействием КЗС, реконструкцией стадиона на Крестовском острове, строительством жилых комплексов в непосредственной близости береговой зоны, плановыми работами на Морском канале, продолжающимся намывом территорий на Васильевском острове (рис. 8). Стрессовое воздействие на экосистему Невской губы оказывают также работы по строительству пассажирского терминала на Васильевском острове и подходных морских путей к нему.

По результатам проведенных исследований установлено, что наибольшее воздействие в целом на прибрежную зону Невской губы оказывает проведение гидротехнических и дреджинговых работ. Их негативное воздействие связано преимущественно с трансформацией прибрежной зоны, физическим нарушением среды обитания гидробионтов, частичным или полным отчуждением или изменением прибрежных биотопов, ранее доступных для комплексного использования водными и околоводными организмами, а также с резким увеличением содержания в водной толще механической взвеси.

а) *б)* *в)*

Рис. 7. Спутниковый снимок участка Лахта-Центра (Image DigitalGlobe).

а — 25 августа 2009 г. (до введения в эксплуатационный режим КЗС),
б — 21 июля 2015 г., *в* — 28 апреля 2019 г.

Fig. 7. Satellite image of the area of the Lakhta-Center (Image DigitalGlobe).

а — August, 25, 2009 (before starting of the operation of the FPFC),
б — July, 21, 2015, *в* — April, 28, 2019.

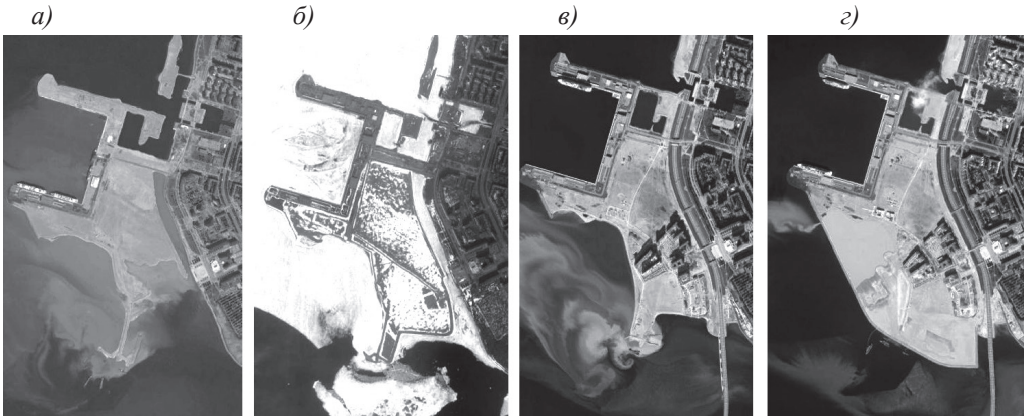


Рис. 8. Изменение площади намывной территории Морского фасада Санкт-Петербурга на спутниковых снимках (Image DigitalGlobe).

а — 22 июня 2009, *б* — 24 сентября 2017, *в* — 12 мая 2018, *г* — 29 июля 2018.

Fig. 8. Changing of the reclaimed area of the Marine Façade of St. Petersburg on the satellite images (Image DigitalGlobe).

а — June, 22, 2009, *б* — September, 24, 2017, *в* — May, 12, 2018, *г* — July, 29, 2018.

Негативное воздействие гидротехнических работ на абиотический компонент геосистемы береговой зоны осуществляется по следующим каналам: перемещение грунта, изменение батиметрических характеристик, нарушение структуры донных отложений, увеличение концентрации взвешенных частиц в водной толще, увеличение мутности, рассеяние и осаждение взмученных отложений, уменьшение содержания кислорода, шумовое загрязнение.

2. Воздействие техносферы на биологические сообщества

Чувствительность различных компонентов биологических сообществ к воздействию техносферы в целом, и в частности к проведению гидротехнических работ как к основной составляющей части антропогенного пресса, по результатам многолетних исследований признана варьирующей в широких пределах.

Наибольшей чувствительностью по отношению к дноуглубительным работам и увеличению содержания взвеси (суммарная оценка: 5 + 4 = 9 баллов) характеризуются донные беспозвоночные, а также икра и мальки рыб. Это объясняется малой мобильностью данных групп гидробионтов, которые не могут покинуть зону негативного воздействия работ. Обычно негативное воздействие носит временный характер, его степень зависит от продолжительности действия фактора и времени, необходимого для восстановления нарушенных популяций (естественным путем или с помощью специальных мероприятий). После изменения структуры грунта на поврежденном участке дна должны вновь сформироваться условия, пригодные для существования донных животных, нереста рыб и развития

их молоди, то есть новый биотоп. Формирование нового биотопа и его заселение обычно продолжаются от трех до восьми лет.

На втором месте по чувствительности находятся макрофиты (суммарная оценка: 2 + 5 = 7 баллов) и экологически связанные с ними рыбы и рыбообразные (суммарная оценка: 4 + 3 = 7 баллов): заходящие на нерест в Невскую губу и Неву невская минога, балтийский лосось, кумжа, невская корюшка и другие. Воздействие дноуглубительных работ (прежде всего, увеличение содержания взвеси в водной толще) на рыб в период массового скопления в Невской губе и Неве во время нереста может существенно сказаться на их численности. Восстановление популяций может оказаться проблематичным или, по крайней мере, затянется на долгие годы.

Третье место занимает зоопланктон (суммарная оценка: 5 + 1 = 6 баллов), особенно чувствительный к увеличению содержания взвеси в воде. Основная масса организмов зоопланктона по способу питания является фильтраторами, а механическая взвесь препятствует эффективной работе фильтровальных устройств, нарушая процессы питания или даже делая их полностью невозможными.

Четвертое место занимают водно-болотные птицы (суммарная оценка: 3 + 2 = 5 баллов), ущерб популяциям которых носит косвенный характер: через снижение кормовой базы — запасов зоопланктона и бентоса. Подрыв кормовой базы может вызвать эффект массового голодания на весеннем и осеннем пролете.

Фитопланктон отвечает на увеличение концентрации взвеси снижением интенсивности фотосинтеза и темпов продукционных процессов (оценка чувствительности к увеличению концентрации взвеси 3 балла). Однако планктонные водоросли способны быстро восстановить численность своих популяций — практически сразу же после снятия антропогенной нагрузки (чему будет способствовать проточный режим рассматриваемой акватории).

Наконец, околоводные млекопитающие, представленные в районе исследований американской норкой *Neovison vison*, могут достаточно быстро откочевывать из некомфортных биотопов с повышенным уровнем фактора беспокойства.

Общая (интегральная) чувствительность и уязвимость различных участков акватории и побережья к операциям, связанным с дноуглублением, определяется различной встречаемостью там перечисленных групп организмов и их специфической чувствительностью к возможным воздействиям. Анализ пространственного распределения интегральной уязвимости исследуемой экосистемы показал, что к районам, наиболее уязвимым в отношении воздействия дноуглубления, в первую очередь относятся мелководные участки. Это связано с концентрацией на этих участках перечисленных выше компонентов биологических сообществ (групп организмов), обладающих наибольшей специфической уязвимостью — донных беспозвоночных (бентоса), рыб (как взрослых, так и молоди) и макрофитов (рис. 9).

Представленность рассмотренных уязвимых групп организмов в исследованном районе изменяется по сезонам. Полный набор уязвимых групп (бентос + икра и молодь рыб + макрофиты + взрослые рыбы + птицы) наблюдается в весенний и летний периоды, которые соответственно характеризуются наибольшей интегральной уязвимостью. Осенью из состава биологических сообществ выбывают икра и молодь рыб и макрофиты. Зимой представленность уязвимых групп

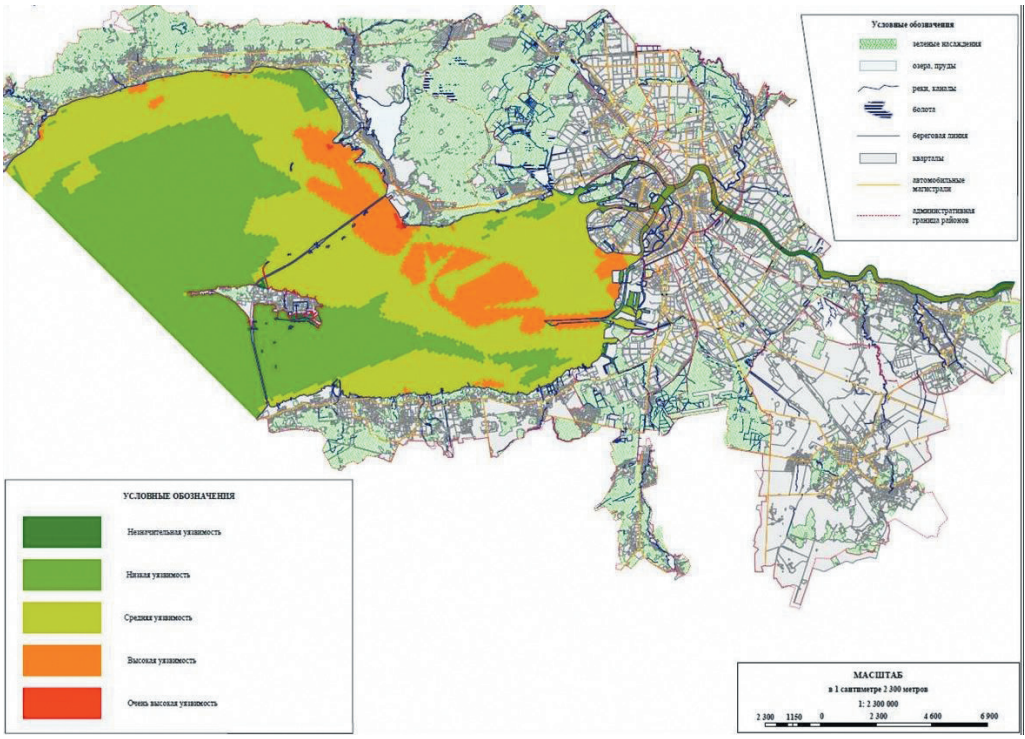


Рис. 9. Потенциальная общая экологическая уязвимость исследованного района по интегральным биологическим характеристикам.

Fig. 9. Potential general assessment of an ecological vulnerability of the investigated area on integrated biological characteristics.

минимальна: в исследованном районе отсутствуют не только икра и молодь рыб, макрофиты и птицы, но также и фитопланктон. Таким образом, экологическая уязвимость исследованного района снижается в следующем порядке: весна > > лето > осень > зима. При этом районы с высокой скоростью проточного течения менее чувствительны, чем участки, на которых течение замедляется.

В летнее и осеннее время (период гнездования и воспитания выводков птиц, вегетации макрофитов, роста молоди рыб) зоны высокой уязвимости в исследованном районе тяготеют к берегам. Эта закономерность отчасти нарушается весной, когда скопление идущих на нерест рыб (в первую очередь корюшки) вызывает появление зон высокой чувствительности и на более глубоководных участках.

Наиболее стабильной во времени и консервативной группой организмов в исследованной экосистеме может быть назван бентос, присутствующий в биологических сообществах во все сезоны. Соответственно, наиболее адекватная и оперативная информация об общем состоянии экосистемы и ее реакции на различные формы антропогенного воздействия (в том числе на дноуглубление) может быть в любое время года получена на основе характеристик бентосных сообществ.

3. Разработка компенсационных мероприятий для снижения негативного воздействия береговой техносферы на окружающую среду

В целях снижения негативного воздействия береговой техносферы на прибрежные биологические сообщества могут быть проведены следующие компенсационные мероприятия: озеленение береговой зоны; очистка береговой зоны от мусора; выпуск в водную среду молоди рыб; формирование искусственных биотопов для привлечения рыб и водно-болотных птиц (искусственные нерестилища, мелководья, острова, ветленды и т. д.); организация в береговой зоне особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Из перечисленного списка в Невской губе успешно реализуются два типа мероприятий, стабилизирующих ситуацию в береговой зоне.

Выпуск молоди рыб имеет большое значение в условиях частичного или полного разрушения нерестилищ, мест концентрации молодняка, нагула и зимовки. Так, например, по заказу ООО «Феникс» в ходе двух первых этапов строительства МПК Бронка выращено в условиях аквакультуры и выпущено в природные водоемы 10 тыс. и 15 тыс. годовиков ладожской палии *Salvelinus lepechini* соответственно. Кроме того, для компенсации воздействия при дноуглубительных работах по заказу ЗАО «БалтСтрой» в 2014 г. осуществлен выпуск еще 141 тыс. сеголеток палии. Важно подчеркнуть, что выпуск молоди необходимо осуществлять конкретно в те водные экосистемы, которые испытывают техносферный прессинг, то есть компенсирующее мероприятие должно быть адресным.

Организация ООПТ оказывает комплексное компенсирующее воздействие на ПТС береговой зоны, при котором нейтрализуются стрессовые эффекты, затрагивающие все компоненты биологических сообществ [14, 18]. Данный вид компенсационного мероприятия направлен на общее поддержание устойчивого функционирования природных компонентов ПТС. Успешным примером ООПТ, специально организованной для компенсации негативного воздействия на прибрежную среду строительства аванпорта «Бронка», является государственный природный заказник регионального значения «Южное побережье Невской губы». Заказник расположен к юго-западу от аванпорта, минимальное расстояние до которого составляет 600 м. Общая площадь ГПЗ (без акватории) составляет 266 га. Задачи заказника заключаются в следующем:

— сохранение сообществ приморских растений; сохранение участков смешанных и лиственных лесов;

— сохранение мест гнездования и массовых стоянок водоплавающих и околоводных птиц на Беломоро-Балтийском миграционном пути;

— сохранение и восстановление биологического и ландшафтного разнообразия на территории Санкт-Петербурга;

— создание условий для изучения естественных процессов в природных комплексах и контроля за изменением их состояния;

— создание условий для экологического образования и просвещения.

Особо охраняемыми объектами на территории заказника являются: тростниковые и камышовые сообщества, фрагменты старовозрастных широколиственных и смешанных лесов, исторические ландшафтные композиции парков.

Заказник состоит из трех кластерных участков, неравнозначных по площади и растительному покрову: «Кронштадтская колония» (100,8 га), «Собственная дача» (37,3 га) и «Знаменка» (127,9 га).

Самый большой по площади кластер — «Кронштадтская колония» — расположен на побережье между двух портов и ограничен с юга железной дорогой. Здесь имеются обширные участки тростниковых мелководий и ольшаников. Часть территории сильно изменена антропогенно и застроена либо использовалась ранее в качестве свалки. Территория «Кронштадтской колонии» в сравнении с другими кластерами наиболее неоднородна в ландшафтном отношении и сильно пересечена.

Самый маленький по площади кластер — «Собственная дача» — включает участок смешанного леса на побережье, открытый луг и парковый ансамбль южнее шоссе на уступе литориновой террасы. Центральным элементом ансамбля является дворец, построенный в 1843 г. А. И. Штакеншнейдером.

Кластер «Знаменка», расположенный восточнее парка Александрия, представляет собой окультуренный участок смешанного леса на побережье.

Бóльшая часть береговой территории, непосредственно примыкающей к акватории Невской губы, занята естественной растительностью. Растительные сообщества представлены тростниковыми зарослями и низинными болотами. На террасе, расположенной южнее литориновой, произрастают черноольховые леса, встречаются березовые леса, ивняки, а также различные луговые сообщества. Характерным компонентом террасы и склона литоринового уступа являются участки старинных парков, смешанных и лиственных лесов с широколиственными породами деревьев (дуб, клен, липа). На мелководьях Невской губы растительность представлена тростниковыми и камышовыми зарослями, которые являются местами массового гнездования водоплавающих и околоводных птиц и их крупных концентраций на миграционных стоянках.

Орнитофауна составляет основу населения позвоночных животных рассматриваемой ООПТ. Она богата по видовому составу (отмечено около 170 видов) и является весьма чувствительной к различным факторам среды. Ядро гнездовой орнитофауны составляют виды водно-болотного и лесных комплексов. Водно-болотные виды особенно остро реагируют на портостроительные и дреджинговые работы. Очевидно, что наблюдения за ними не только позволяют выяснить влияние гидротехнического строительства и дреджинга на птиц как таковых, но и оценить характер и масштабы антропогенного воздействия на экосистему ООПТ в целом.

До начала работ по строительству аванпорта «Бронка» основные гнездовые колонии и миграционные стоянки водно-болотных птиц располагались напротив пос. Кронштадтская колония, где существовала протока Ольгин канал. Распределение глубин и характер растительности на этом участке были чрезвычайно благоприятны как для пролетных, так и для местных птиц. В настоящее время Ольгин канал засыпан, а прилегавшая часть плавней уничтожена. Вследствие этого основные колонии, места гнездования и миграционные стоянки птиц переместились в восточную часть плавней, роль которой в обеспечении комфорта водно-болотной орнитофауне предстояло выявить в настоящем исследовании.

Расположенные на территории заказника «Южное побережье Невской губы» плавни и прилегающая к ним акватория активно используются водно-болотными птицами как для гнездования, так и в качестве мест миграционных и линочных скоплений, а также как русло транзитного пролета водоплавающих птиц. Численность птиц в скоплениях более чем в два раза превышает число транзитных мигрантов, что говорит о большой кормовой емкости угодья.

По результатам исследований можно утверждать, что заказник «Южное побережье Невской губы» в настоящее время играет ключевую роль в обеспечении сохранения стабильной экологической обстановки в береговой зоне Невской губы на участке от дамбы КЗС до музея-заповедника Петергоф.

Выводы

В результате проведенных исследований описан процесс формирования в Невской губе особого биосферного компонента — береговой техносферы. Выделены основные факторы негативного воздействия техносферы на прибрежные гидробиологические сообщества, связанные, прежде всего, с проведением гидротехнических и дноуглубительных (дреджинговых) работ. Описан отклик биологических сообществ на оказываемое стрессовое воздействие, для чего определена их экологическая уязвимость. Построенная карта экологической уязвимости Невской губы может быть использована в интересах морского пространственного планирования при дозировании антропогенной нагрузки от реализуемых в береговой зоне макропроектов.

В качестве восстановительных мероприятий для компенсации ущерба водным биоресурсам предложены: искусственное воспроизводство молоди экономически ценных видов рыб из состава местной ихтиофауны с последующим выпуском в водные объекты, подвергшиеся антропогенному воздействию; возведение искусственных островных биотопов и мелководий; организация прибрежных ООПТ, обеспечивающих комплексный природоохранный эффект.

Список литературы

1. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / Под ред. А.Ф. Алимова и С.М. Голубкова. СПб, М., 2008. 477 с.
2. *Слепян Э.И.* Невская губа // Жизнь и безопасность, 1996. № 4. С. 140—148.
3. *Kukina I., Souray V., Shilin M.* Saint-Petersburg — an ideal concept of the coastal town for the Gulf of Finland // Baltic Floating University Research Bulletin, 2003. No. 6. P. 67—68.
4. *Чусов А.Н., Шилин М.Б., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Тимошина А.В.* Использование намытой береговой территории в Невской губе для строительства Лахта-Центра // Ученые Записки РГГМУ. 2014. № 35. С. 7—30.
5. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina Y.V.* Variations of Neva floods and sea level in the gulf of Finland under current climate conditions // Water Resources, 2015. V. 42, No. 5. P. 699—711. DOI: 10.1134/S0097807815030082.
6. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А.* Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе // Вода и экология. 2018. № 1. С. 48—58. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.23.1.48–58.
7. Природоохранный атлас российской части Финского залива / Под ред. В.Б. Погребова, Р.А. Сагитова, Н.В. Дмитриева. СПб: Тускарора, 2006. 48 с.

8. *Шилин М.Б., Погребов В.Б., Мамаева М.А., Лукьянов С.В., Леднова Ю.А.* Уязвимость экосистем береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу // Ученые записки РГГМУ, 2012. № 25. С. 107—121.
9. *Chusov A., Lednova J., Shilin M.* Ecological assessment of dredging in the Eastern Gulf of Finland // Ocean: Past, Present and Future — 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC). Klaipeda, 2012. P. 1—4. DOI: 10.1109/BALTIC.2012.6249169.
10. *Lednova J., Chusov A., Shilin M.* Eco-monitoring of dredging in the Gulf of Finland // Proc. 10th Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 2013 — MEDCOAST 2013 Joint Conference. 2013. V. 2. P. 1024—1034.
11. *Shilin M., Eremina T., Mamaeva M., Chusov A., Lednova J.* Eco-sensitivity to dredging in the Gulf of Finland // Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2015. 2015. Vol. 1. P. 339—350.
12. *Shilin M., Lukjanov S., Zhakova, Mamaeva M., Lednova Ju*. Assessing the status and trends of the coastal ecosystems in the dredging material deposit areas // Abs. Int. Conf. «8-th Baltic Sea Science Congress», 22-26 august 2011. Saint-Petersburg, 2011. P. 221.
13. *Chusov A., Shilin M., Gogoberidze G., Bobylev N., Ershova A., Lednova J.* Long-term monitoring of the dredged material deposit sites in the Eastern Gulf of Finland // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. P. 1—8. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401010.
14. *Mikheev V., Shilin M., Abramov V., Zhigulsky V., Chusov A.* Study protected nature areas implication to ecological stabilization near port of Bronka // 2019 International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM. 2019. Vol. 19 (5.2). P. 701—707. DOI: 10.5593/sgem2019/5.2/S20.088.
15. *Shilin M., Abramov V., Andreeva S., Andreev S., Yaily E.* Innovative technologies for geo-ecological support while artificial coastal territories development // 2019 International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM. 2019. Vol. 19 (5.1). P. 399—406. DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.050.
16. *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.
17. Экологические аспекты дреджинга / Под ред. Р.Н. Брэя. СПб: Реноме, 2013. 444 с.
18. *Chusov A., Lednova J., Zhigulskij V., Shilin M., Ershova A., Kouzov S.* Nature protection area as compensation action // 2017 13th International MEDCOAST Congress on coastal and marine sciences, engineering, management and conservation, MEDCOAST 2017, Mellieha, Malta. 2017. Vol. 1. P. 257—268.

References

1. *Ekosistema estuariya reki Nevy: biologicheskoye raznoobraziye i ekologicheskiye problem*. Ecosystems of the estuary the river Neva: biodiversity and environmental issues. A.F. Alimov and S.M. Golubkov (Eds.). St. Petersburg — Moscow. 2008: 477 p. [In Russian].
2. *Slepyan E.I.* The Neva Bay. *Zhizn' i bezopasnost'*. Life and Safety. 1996, 4: 140—148. [In Russian].
3. *Kukina I., Souray V., Shilin M.* Saint-Petersburg — an ideal concept of the coastal town for the Gulf of Finland. Baltic Floating University Research Bulletin. 2003, 6: 67—68.
4. *Chusov A.N., Shilin M.B., Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Timoshina A.V.* Use of the reclaimed coastal area in the Neva Bay for the construction of the Lakhta-Center. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2014, 35: 7—30. [In Russian].
5. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina Y.V.* Variations of Neva floods and sea level in the Gulf of Finland under current climate conditions. Water Resources. 2015, 5 (42): 699—711. DOI: 10.1134/S0097807815030082.
6. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina Yu.V., Pavlovsky A.A.* Negative consequences of storm surges and "secular" level growth in the Neva Bay. *Voda i Ekologiya*. Water and Ecology. 2018, 1: 48—58. [In Russian]. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.23.1.48–58.

7. *Prirodookhrannyy atlas rossiyskoy chasti Finskogo zaliva*. Environmental Atlas of the Russian Part of the Gulf of Finland. V.B. Pogrebov, R.A. Sagitov, N.V. Dmitriev (Eds.). St. Petersburg: Tuscarora. 2006: 48 p. [In Russian].
8. *Shilin M.B., Pogrebov V.B., Mamaeva M.A., Lukyanov S.V., Lednova Yu.A.* Vulnerability of ecosystems in the coastal zone of the Eastern part of the Gulf of Finland to dredging. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2012, 25: 107—121. [In Russian].
9. *Chusov A., Lednova J., Shilin M.* Ecological assessment of dredging in the Eastern Gulf of Finland. Ocean: Past, Present and Future — 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), Klaipeda. 2012: 1—4. DOI: 10.1109/BALTIC.2012.6249169.
10. *Lednova J., Chusov A., Shilin M.* Eco-monitoring of dredging in the Gulf of Finland. Proceedings of the 10th Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 2013 — MEDCOAST 2013 Joint Conference. 2013, 2. 1024—1034.
11. *Shilin M., Eremina T., Mamaeva M., Chusov A., Lednova J.* Eco-sensitivity to dredging in the Gulf of Finland. Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2015. 2015, 1: 339—350.
12. *Shilin M., Lukjanov S., Zhakova, Mamaeva M., Lednova Ju*. Assessing the status and trends of the coastal ecosystems in the dredging material deposit areas. Abs. Int. Conf. «8-th Baltic Sea Science Congress», 22-26 august 2011. Saint-Petersburg, 2011: 221.
13. *Chusov A., Shilin M., Gogoberidze G., Bobylev N., Ershova A., Lednova J.* Long-term monitoring of the dredged material deposit sites in the Eastern Gulf of Finland. E3S Web of Conferences. 2020, 164: 1—8. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401010.
14. *Mikheev V., Shilin M., Abramov V., Zhigulsky V., Chusov A.* Study protected nature areas implication to ecological stabilization near port of Bronka. 2019 International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM. 2019,19 (5.2): 701—707. DOI: 10.5593/sgem2019/5.2/S20.088.
15. *Shilin M., Abramov V., Andreeva S., Andreev S., Yaily E.* Innovative technologies for geo-ecological support while artificial coastal territories development. 2019 International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM. 2019, 19 (5.1): 399—406. DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.050.
16. *Golubev D.A., Zaitsev V.M., Klevanny K.A., Lednova Yu.A., Lukyanov S.V., Ryabchuk D.V., Spiridonov M.A., Shilin M.B.* Complex ecological studies of the state of soil dumping areas in the Neva Bay and in the Eastern part of the Gulf of Finland. *Inzhenernyye izyskaniya*. Engineering research. 2010, 5: 36—42. [In Russian].
17. *Ekologicheskiye aspekty dredzhinga.* Environmental aspects of dredging. R.N.Bray (Ed.). St. Petersburg: Publishing house «Renome», 2013. 444 p. [In Russian].
18. *Chusov A., Lednova J., Zhigulskij V., Shilin M., Ershova A., Kouzov S.* Nature protection area as compensation action. 2017 13th International MEDCOAST Congress on coastal and marine sciences, engineering, management and conservation, MEDCOAST 2017, Mellieha, Malta. 2017, 1: 257—268.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 14.08.2020
Принята после доработки к публикации 03.09.2020

Сведения об авторах

Шилин Михаил Борисович, д-р геогр. наук, канд. биол. наук, профессор, профессор кафедры прикладной информатики РГГМУ, shilin@rshu.ru

Сычев Виталий Иванович, канд. физ.-мат. наук, доцент, эксперт Межправительственной Океанографической комиссии ЮНЕСКО, sychev@rshu.ru

Михеев Валерий Леонидович, канд. юридич. наук, ректор РГГМУ, rector@rshu.ru

Истомин Евгений Петрович, д-р технич. наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики РГГМУ, biom@bk.ru

Леднова Юлия Анатольевна, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, старший преподаватель, lednovajulia@mail.ru

Лукьянов Сергей Васильевич, канд. геогр. наук, глава департамента океанологии РГГМУ, serg@rshu.ru

Абрамов Валерий Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доцент, кафедра морских информационных систем Института информационных систем и технологий РГГМУ, abramov@rshu.ru

Information about authors

Shilin Mikhail Borisovich, Grand PhD (Geogr. Sci.), PhD (Biol. Sci.), professor, professor of the Chair of applied informatics of RSHU, shilin@rshu.ru

Sychev Vitaly Ivanovich, PhD (Phys. and Math. Sci.), Associated Professor, Expert of UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission, sychev@rshu.ru

Mikheev Valerij Leonidovich, PhD in Law, rector of RSHU, rector@rshu.ru

Istomin Yevgenij Petrovich, Grand PhD (Techn. Sci.), Chair of Applied Informatics at RSHU, biom@bk.ru

Lednova Yuliya Anatolievna, Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction Institute of Civil Engineering Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, senior lecturer, lednovajulia@mail.ru

Lukyanov S.V., PhD (Phys. and Math. Sci.), Associated Professor, Head of the Department of Oceanology, serg@rshu.ru

Abramov V.M., PhD (Phys. and Math. Sci.), Associated Professor, abramov@rshu.ru