

На правах рукописи

Леднова Юлия Анатольевна

**ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ НЕВСКОЙ ГУБЫ НА ОСНОВЕ
КОМПЛЕКСНО-ИНДИКАТОРНОГО ПОДХОДА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в Высшей школе гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель: **Шилин Михаил Борисович**
доктор географических наук, профессор кафедры прикладной информатики ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Официальные оппоненты: **Субетто Дмитрий Александрович**
доктор географических наук, старший научный сотрудник, декан факультета Географии, заведующий кафедрой Физической географии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»

Крыленко Марина Владимировна
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории литодинамики и геологии ФГБУН Институт Океанологии им. П.П.Ширшова РАН (Южное отделение)

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет»

Защита диссертации состоится «___»_____ 2020 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу: г. Санкт-Петербург, пр. Металлистов, дом 3, ауд.____.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/> ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу 192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, дом 79, Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационные совет Д 212.197.03, ученому секретарю.

Автореферат разослан «___»_____ 2020 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.197.03
к. воен.н., доцент

Соколов А.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Водные объекты и их прибрежная зона имеют важнейшее значение в расселении, развитии и деятельности человека с древнейших времен, обусловив становление и развитие поселений, а также последующее развитие городов. Промышленная революция 1850-х гг. ускорила процессы урбанизации, способствовала росту промышленности, интенсификации потока товаров, развитию морского транспорта, портового строительства, и соответственно усилила антропогенное воздействие на прибрежную зону, а в конечном счете – привела к формированию техносферы.

Прибрежная зона (ПЗ), являясь многокомпонентной геосистемой на стыке водной и наземно-воздушной сред, подвергается значительному антропогенному воздействию. Расширение антропогенной деятельности и создание искусственных сооружений трансформирует потоки вещества и энергии в геосистеме и ведет к ее перестройке. Функционирование геосистемы ПЗ под антропогенным давлением становится неустойчивым. Методологическая оценка геоэкологической ситуации при увеличивающемся антропогенном давлении на ПЗ, которая бы комплексно учитывала абиотические, биотические и антропогенные факторы, до настоящего времени не разработана.

Настоящее диссертационное исследование посвящено оценке геоэкологической ситуации в ПЗ Невской губы в условиях ускоряющегося техногенеза, где важнейшим антропогенным компонентом является Санкт-Петербург.

Актуальность темы исследования обусловлена:

- необходимостью разработки методики оценки геоэкологического состояния прибрежной зоны (ОГСПЗ), на основе комплекса из геоэкологического и индикаторного подходов, отражающей различия локальных прибрежных геосистем между собой, в условиях урбанизации и техногенеза;
- интенсификацией природообразующей деятельности приморских городов на прилегающих территориях и акваториях, трансформирующих естественные ландшафты в антропогенные, и увеличением количества объектов воздействия на ПЗ;
- быстрой трансформацией ПЗ Невской губы после начала функционирования комплекса защитных сооружений (КЗС), который превратил природную геосистему внешнего эстуария реки Нева в природно-техническую систему (ПТС), в существенной степени управляемую человеком;
- необходимостью оценки воздействия техногенеза и основного вида природообразующей деятельности в ПЗ – гидротехнических работ – на абиотические, биотические и социально-экономические компоненты геосистемы Невской губы.

Цель исследования – оценка геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы в условиях интенсивного техногенеза на основе комплексно-индикаторного подхода.

Задачи исследования:

1. Обобщить принципы и подходы к выбору оптимальных индикаторных и индексных систем оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне в условиях техногенеза.

2. Разработать комплексно-индикаторную методику для оценки геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы для наиболее значимых факторов техногенеза.
3. Изучить в лабораторных условиях уязвимость биологических компонентов геосистемы прибрежной зоны к основному стрессовому воздействию техногенеза.
4. Оценить пространственно-временное распределение воздействия на геоэкологическую ситуацию в прибрежной зоне Невской губы в период строительства аванпорта «Бронка» по разработанной методике.

Объект исследования – геосистема Невской губы, включающая в себя абиотическую, биотическую и социально-экономические компоненты.

Единица изучения – приморский локальный муниципалитет (ПЛМ) в естественных и антропогенных границах и его прилегающая акватория.

Предмет исследования – индикаторная система оценки воздействия на геосистему Невской губы в условиях техногенеза и урбанизации.

Теоретическая значимость работы

Разработана комплексно-индикаторная методика для оценки геоэкологической ситуации прибрежной зоны техногенезированного водоема в условиях урбанизации и техногенеза от реализации гидротехнических проектов. Авторская методика позволит сопоставлять антропогенную нагрузку при выборе оптимальных сценариев реализации гидротехнических и других инженерных работ с учетом текущей геоэкологической ситуации в намечаемом районе их проведения на уровне приморского локального муниципалитета и прилегающей акватории.

Практическая значимость работы

Разработанная комплексно-индикаторная методика позволяет на практике оценить воздействия от процессов урбанизации и техногенезации на геоэкологическую ситуацию в ПЗ различных водных объектов – как морских, так и пресноводных. Выделение ПЛМ с его прилегающей акваторией как пространственной единицы оценки геоэкологической ситуации в ПЗ позволяет проводить комплексный анализ воздействия антропогенной деятельности, протекающей на стыке двух сред – водной и наземно-воздушной.

Список выделенных и проанализированных факторов воздействия позволяет осуществлять практическое планирование работ в ПЗ и разрабатывать мероприятия по их минимизации и компенсации ущерба. Особо выделен фактор гидротехнических работ, обладающий наибольшим природообразующим потенциалом, приводящий к трансформации наземной и водной компонент геосистемы и оказывающий наиболее существенное влияние на абиотические, биотические и антропогенные факторы ПЗ.

Результаты, полученные в ходе лабораторных исследований по оценке уязвимости биологических компонентов геосистемы ПЗ, позволяют сформулировать предложения, направленные на минимизацию антропогенного воздействия на сообщества макрозообентоса и макрофитов при проведении гидротехнических работ.

Методические разработки и результаты наблюдения используются в учебном процессе в Высшей школе гидротехнического и энергетического строительства

Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Результаты диссертационного исследования получены в ходе выполнения следующих работ: мониторинговые исследования по оценке состояния подводных отвалов грунта в Невской губе и восточной части Финского залива (РГГМУ, 2010–2012 гг.); международные трансграничные проекты Финляндия-Россия «TOPCONS – Transboundary tool for spatial planning and conservation of the Gulf of Finland» 2011–2014, SOUTH-EAST FINLAND – RUSSIA ENPI CBC PROGRAMME 2007–2013; «ILEPRA – Intercluster Laboratory on Environmental Protection and Risks Assessment», 2012–2014, SOUTH-EAST FINLAND – RUSSIA ENPI CBC PROGRAMME 2007–2013.

Теоретической и методологической базой работы стали разработки российских и иностранных ученых:

- в подходах к применению индикаторных и индексных систем (Bossel, 2001; Гордеев и др., 2006; Birkmann, 2006; Paracchini et al., 2011; Moldan et al., 2012; Wu and Wu, 2012; Liguete et al., 2013; Alexandrakis et al., 2014; Косьян, 2017, 2018, Kantamaneni et al., 2019);
- в сфере комплексного управления прибрежной зоной, морского пространственного планирования и морехозяйственной деятельности (Плинк, 1998, 2009; Гогоберидзе, 2003, 2005, 2008, 2010; Кононенко, 2003, 2014; Савельева, 2005, и др., 2006; Матишов, 2007, 2015; Денисов, 2008; Sherman and Hempel, 2008; Карлин, 2009; Крыленко и Крыленко, 2017);
- в изучении природно-технических систем (Федоров, 2010; Чусов, 2017);
- в сфере воздействия на компоненты геосистем гидротехнических работ (Bray et al., 1997, 2008, 2010, 2013; Newell et al., 1998; Патин, 2000; Шилин, 2003, 2006, 2009–2014, 2016–2017, 2019; Жигульский и др., 2010, 2012–2013, 2016–2019; Tillin et al., 2011);
- в сфере экологической уязвимости в природно-технических и урбанизированных системах (Turner et al., 2003; Погребов, 2006, 2009, 2011; Adger, 2006; Блиновская и др., 2014);
- в оценке протекающих природных и антропогенных процессов в ПЗ Невской губы (Нежиховский, 1981; Алимов, 1999, 2008; Голубков, 1999, 2008, 2014, 2015, 2017, 2018; Телеш, 1999, 2001, 2008; Спиридонов и др., 2010; Максимов, 2011, 2014, 2018; Петухов, 2011, 2013, 2014; Рябчук и др., 2011, 2014, 2017; Фрумин, 2011; Румянцев и др., 2012; Губелит и Ковальчук, 2013; Максимова, 2013; Сулопарова и др., 2013; Рыбалко, 2014, 2017; Федорова, 2014; Балущкина, 2015, 2017, 2018; Шахвердов, 2015; Шурухин и др., 2016).

Методология, методы и инструменты исследования

В исследовании применялись следующие методы: аналитический (анализ, обобщение, сравнение, синтез полученных данных исследований), экспериментальный, индикаторный и индексный, математико-статистический, элементы методов комплексного управления прибрежной зоной (КУПЗ) и морского пространственного планирования.

На основе комплексно-индикаторной методики была проведена оценка геоэкологической ситуации в ПЗ Невской губы. В результате участия в экологических мониторинговых исследованиях по оценке состояния подводных

отвалов грунта в Невской губе и восточной части Финского залива в 2010–2012 гг. было проанализировано воздействие гидротехнических работ на биологические компоненты геосистемы Невской губы. Проведены лабораторные эксперименты по изучению уязвимости биологических сообществ Невской губы к воздействию перекрытием грунтом и к увеличению мутности воды, результаты которых легли в основу авторской методики оценки геоэкологической ситуации ПЗ. В рамках международного трансграничного проекта Финляндия-Россия «TOPCONS – Transboundary tool for spatial planning and conservation of the Gulf of Finland» 2011–2014 была сформирована база данных из открытой официальной статистической информации по экологическим и социально-экономическим параметрам (2008–2013), впоследствии дополненная значениями (для периода 2014–2016 гг.). На основе собранных данных разработана авторская методика оценки геоэкологической ситуации в ПЗ Невской губы для ПЛМ и прилегающей акватории. На основе литературного обзора, мониторинговых исследований и полученных автором результатов в ходе выполнения международного проекта «LEPRA – Intercluster Laboratory on Environmental Protection and Risks Assessment», 2012–2014, SOUTH-EAST FINLAND – RUSSIA ENPI CBC PROGRAMME 2007–2013 были выделены основные элементы техногенеза в Невской губе. По результатам многолетней работы была разработана методика, проведены расчеты и выполнен анализ оценки геоэкологической ситуации в ПЗ для уровня ПЛМ и прилегающей акватории и основного элемента техногенеза в ПЗ Невской губы в 2010-х гг. – гидротехнических работ при строительстве аванпорта «Бронка».

Научная новизна:

1. Впервые проанализированы существующие подходы к созданию индикаторных и индексных систем оценки геоэкологической ситуации в ПЗ в условиях техногенеза, определены основные направления и применимость комплексно-индикаторного подхода для изучения локальных компонентов прибрежных природно-технических систем.

2. Впервые разработана комплексно-индикаторная методика для оценки геоэкологической ситуации ПЗ, находящейся в состоянии техногенеза. Впервые выделена единица оценки геоэкологической ситуации прибрежной зоны – приморский локальный муниципалитет с прилегающей акваторией. Методика, которая состоит из двух частей, позволяет оценить:

- геоэкологическую ситуацию прибрежной зоны приморского локального муниципалитета как единицы урбанизированной территории, с учетом социально-экономического и экологического аспектов;
- геоэкологическую ситуацию при реализации гидротехнического проекта в ПЗ как фактора ее трансформации.

3. По разработанной методике проведены расчеты, позволяющие оценить геоэкологическую ситуацию в ПЛМ и эффекты воздействия аванпорта «Бронка» на ПЗ Невской губы.

4. Впервые проведены лабораторные исследования по количественной оценке уязвимости различных биологических компонентов геосистемы Невской губы, позволяющие численно определить реакцию макрозообентоса и макрофитов на увеличение мутности воды и перекрытие слоем грунта при антропогенной трансформации прибрежной зоны.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с **пунктами 1.11 и 1.16 паспорта специальности 25.00.36 «Геоэкология» (науки о Земле):**

- п. 1.11. Геоэкологические аспекты функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем.
- п. 1.16. Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов.

В диссертации дано решение проблемы оценки геоэкологической ситуации прибрежной зоны в условиях урбанизации и техногенеза на основе комплексно-индикаторного подхода.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа существующих подходов к созданию индикаторных и индексных систем и к оценке геоэкологической ситуации в ПЗ в условиях техногенеза.
2. Авторская методика для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне на основе комплексно-индикаторного подхода.
3. Результаты оценки уязвимости элементов водной экосистемы к проведению гидротехнических работ по результатам моделирования и лабораторных экспериментов.
4. Результаты пространственно-временной оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне Невской губы по авторской методике для приморских локальных муниципалитетов и их прилегающих акваторий и при реализации гидротехнического проекта.

Личный вклад автора

Автор выполняла сбор исходных данных, разрабатывала методику проведения лабораторных экспериментов, проводила лабораторные исследования, разрабатывала комплексно-индикаторную методику расчета, проводила расчеты, строила графики, анализировала и обобщала полученные результаты, формулировала выводы, делала презентации результатов на конференциях и форумах и производила их обработку и подготовку для включения в научные статьи, в том числе, индексируемых в базах Scopus и Web of Science.

Все научные и прикладные результаты получены автором лично.

Фактический материал

Фактический материал представляет собой официальные открытые статистические данные по состоянию окружающей среды, опубликованные ежегодники состояния качества окружающей среды Санкт-Петербурга, материалы томов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) строительства аванпорта «Бронка» и двух этапов строительства морского подходного канала аванпорта, прошедшие государственную экспертизу, материалы комплексных геоэкологических съемок воздействия гидротехнических работ, характеризующие биотические и абиотические компоненты геосистемы ПЗ Невской губы. Для проведения лабораторных исследований использовался природный естественный грунт и представители биологических компонентов сообществ геосистемы ПЗ Невской губы и восточной части Финского залива.

Достоверность результатов

Достоверность результатов проведенных исследований обеспечена полнотой исходной информации, выполненным сравнительным анализом российских и

зарубежных работ по теме исследования, применением стандартных методов статистической обработки данных, апробацией основных выводов на российских и международных конференциях.

Апробация работы

Основные результаты по теме диссертационного исследования докладывались и получили положительную оценку на российских и международных конференциях 2010–2019 гг. (см. список публикаций): XXIII Международная конференция «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности», Санкт-Петербург, 2010; 2-я Международная конференция «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акваториях водоемов», Новосибирск, 2011; 8-я Международная конференция «Baltic Sea Science Congress», Санкт-Петербург, 2011; 2-я Международная научно-практическая конференция, посвященная 15-летию со дня основания филиала РГГМУ в г. Туапсе «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления», Туапсе, 2011; XII Международный экологический форум «День Балтийского моря», Санкт-Петербург, 2011; 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), IEEE/OES, Литва, г. Клайпеда, 2012; XXIV Международная береговая конференция, посвященная 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега» «Морские берега – эволюция, экология, экономика», Туапсе, 2012; 7-я научно-практическая конференция «Строительство в прибрежных курортных регионах», Сочи, 2013; Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 10 – MEDCOAST 2013 Joint Conference, Турция, г. Мармарис, 2013; 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), 2014 IEEE/OES, Эстония, г. Таллинн, 2014; Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 15, Болгария, г. Варна, 2015; EMECS 11 – Sea Coasts XXVI. Joint conference «Managing risks to coastal regions and communities in a changing world», Санкт-Петербург, 2016; 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017, Мальта, г. Меллиха, 2017; 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, Болгария, г. Албена, 2017; XXVII Международная береговая конференция «Арктические берега: путь к устойчивости», 2018; 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2018, Литва, г. Клайпеда, 2018; Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 19, Турция, г. Мармарис, 2019; Международная научная конференция «Актуальные проблемы зеленой архитектуры, гражданского строительства и экологии — ТРАСЕЕ 2019», г. Москва, 2019.

По теме диссертации опубликована 31 работа в научных изданиях РФ и иностранных издательств, в том числе 6 в изданиях, рекомендованных ВАК, в 2 учебных пособиях, 11 работ на английском языке, индексируемых в базах Scopus и WoS, включая 1 коллективную монографию на английском языке, 12 работ из списка прочих изданий РИНЦ РФ, в том числе 7 работ в тезисах и абстрактах докладов на конференциях.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация состоит из списка сокращений, введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на

182 страницах, включает 47 рисунков, 27 таблиц. Список использованных материалов включает 242 источника, в том числе 95 на иностранном языке.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.г.н. М. Б. Шилину, д.э.н. Г. Г. Гогоберидзе, д.ф.-м.н. Л. М. Молодкиной, к.г.н. М. С. Аракелову, к.г.н. Д. А. Домнину, к.т.н. В. А. Жигульскому, к.т.н. А. Н. Чусову, коллегам отделения городского строительства и прикладной экологии Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, коллегам из Российского государственного гидрометеорологического университета (г. Санкт-Петербург). Отдельная благодарность родным и близким за поддержку и придание уверенности в написании работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Системы индикаторов и индексов для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне

В диссертационном исследовании проведено сопоставление подходов к выделению прибрежной зоны (ПЗ) в международной и российской практике на основе проектов, законодательных актов и в различных науках. На основании проведенного сравнения сформулировано понятие ПЗ, под которой в работе понимается область на стыке водной и наземно-воздушной среды, включающая в себя береговую (наземную) и прибрежную (водную) зоны, включая дно шельфа.

Рассмотрена международная и российская практика морского пространственного планирования и КУПЗ. Основные виды антропогенного воздействия и последствия, оказываемые на геосистему ПЗ, относятся к 14 видам основной морской деятельности, включая гидротехнические работы и искусственные сооружения.

Описаны подходы к выбору индикаторных и индексных систем с использованием статистических методов и методов экспертно-статистических оценок. Сочетание различных методик и подходов дает возможность осуществления комплексной геоэкологической оценки, что является особенно важным для уязвимых компонентов геосистем.

Рассмотрены принципы, структуры и критерии разработки индикаторов и индексов. Показано, что исследование геосистемы не предполагает единого однозначного подхода к выбору индикаторной и индексной систем. В целом может быть выделено от 4 до 7 основных групп взаимодействий в геосистеме. Сходными факторами в рассмотренных структурах являются природные и социально-экономические факторы. Количество критериев к разработке индикаторной и индексной систем варьируется от 4 до 8 в зависимости от подхода.

Выполнен обзор международных индикаторных и индексных систем, разработанных для оценки уязвимости и состояния. Количество индикаторов и промежуточных индексов для описания геоэкологической ситуации в ПЗ в составе комплексного индекса варьируется в пределах от 7 до 31. На основе обзора отмечена необходимость нормирования данных и индикаторов, а также переход к безразмерным величинам для оценки геоэкологической ситуации в ПЗ. Использование весовых коэффициентов имеет некоторый субъективный аспект и может усиливать позиции индикаторов, изначально имеющих значительный вклад в

индикаторную или индексную систему, и уменьшать значение тех индикаторов, которые изначально имеют меньший вклад.

Показано, что индикаторный подход имеет широкое применение в мировой практике на региональном и глобальном уровне для оценки ситуации в ПЗ. В то же время различными авторами указывается на необходимость оценки уязвимости окружающей среды на локальном уровне. Индикаторная оценка и сравнение геоэкологической ситуации на локальном уровне позволит получить детальную ситуацию в ПЗ и выявить зоны, наиболее уязвимые к природным и социально-экономическим процессам, а также определять возможности развития данной зоны.

Выполнен обзор российских индикаторных систем для оценки уязвимости в КУПЗ с применением индикаторных систем и для гидротехнических работ. Расчетные индикаторные системы оценки воздействия гидротехнических работ на ПЗ находятся в начальной стадии разработки и встречаются преимущественно только в русскоязычной литературе.

Многообразие расчетных методов и наборов индикаторов определяется целью, для которой данная система оценок была разработана, а также пространственным уровнем оценки и уточнением мест, где необходимо проведение дополнительных работ для оценки возможности какой-либо антропогенной деятельности с учетом меняющихся условий.

Оптимальным и наиболее частым подходом при оценке уязвимости ПЗ является геоэкологический подход. Данный подход включает в себя учет природных и антропогенных факторов, которые используются для комплексной оценки состояния, ситуации и уязвимости ПЗ.

Гидротехнические работы являются одним из наиболее значимых факторов, влияющих на ситуацию в ПЗ. Негативное воздействие гидротехнических работ преимущественно связано с нарушением среды обитания и отчуждением или изменением части ПЗ, ранее доступной для компонентов геосистемы. Выделено 14 компонентов абиотической среды геосистемы ПЗ и 9 компонентов биотической среды, которые подвергаются негативному воздействию при проведении гидротехнических работ. Подробное описание представлено в тексте диссертационной работы.

В диссертации показано, что в некоторых случаях проведение гидротехнических работ может оказывать положительное воздействие на окружающую среду, когда в водной среде в небольшом количестве увеличивается доля доступных для гидробионтов питательных веществ, что может приводить к увеличению продуктивности водных и околородных биологических сообществ и численности биологических компонентов геосистемы.

Глава 2. Описание района исследований. Техногенез и роль гидротехнических объектов в формировании геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы

Невская губа является уникальным водным объектом, за 320-летнюю историю Санкт-Петербурга трансформированным из природной среды в ПТС. Город окружил губу не только по ее берегам, создав урбоэкосистему с более чем пятиmillionным населением, но и способствовал изменению балансов физических, химических и биологических компонентов водной геосистемы. Невская губа, несмотря на ее относительно небольшие размеры по сравнению с другими объектами Балтийского

региона, значительно отличается от восточной части Финского залива по гидрологическим, геологическим и биологическим характеристикам.

Значительное разнообразие ПЗ Невской губы, проявляющееся на небольшой акватории и прилегающих берегов, делает ее уникальным полигоном для изучения геосистемных процессов и оценки антропогенного давления при проведении гидротехнических работ (рисунок 1).

Невская губа находится под все усиливающимся антропогенным давлением, связанным с уже существующей инфраструктурой, высокой и все увеличивающейся плотностью населения Санкт-Петербурга, и, в особенности, с проведением гидротехнических работ, необходимых для развития и поддержания портовой деятельности.

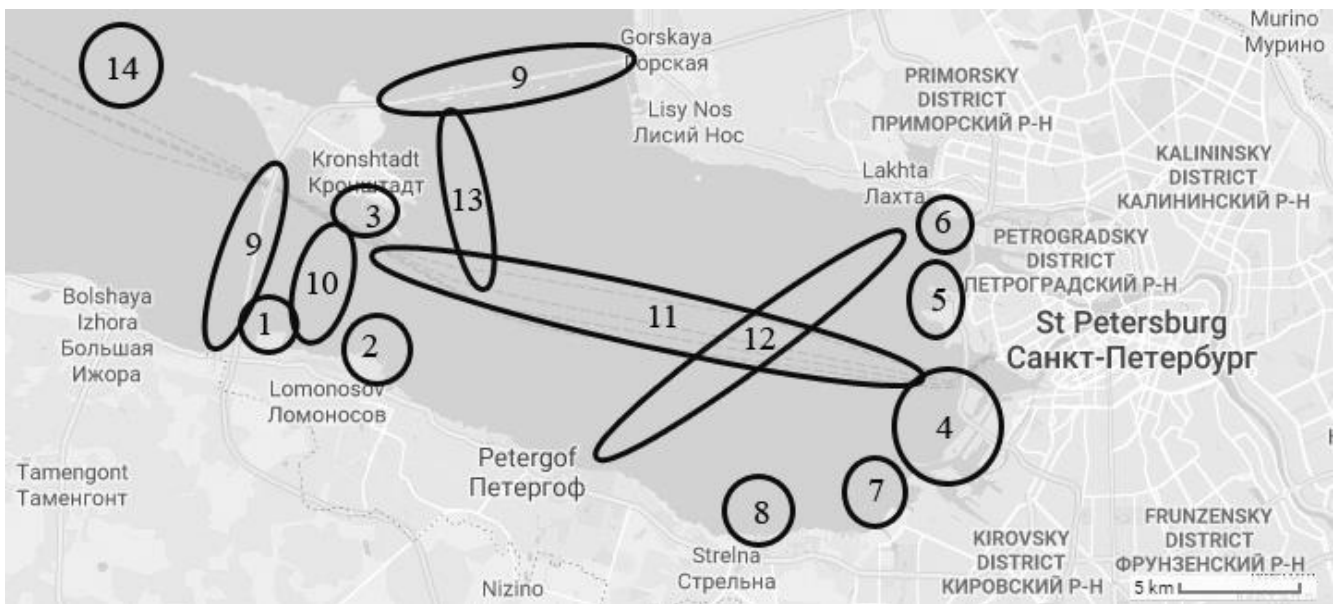


Рисунок 1 – Схема проведения гидротехнических работ в акватории Невской губы в 2000–2018 гг.: 1 – аванпорт «Бронка»; 2 – порт г. Ломоносов; 3 – порт г. Кронштадт; 4 – основная часть порта Большой Санкт-Петербург; 5 – пассажирский порт; 6 – карьер и отвал грунта Северная Лахта; 7 – карьер и отвал грунта Южная Лахта; 8 – создание гавани поселка Стрельна и подходного канала; 9 – КЗС; 10 – подходной канал аванпорта «Бронка»; 11 – Морской канал; 12 – подходной канал между Петергофом и Дворцовой набережной Санкт-Петербурга; 13 – подходной канал между Морским каналом и судопропускное сооружение С-2 КЗС; 14 – подводный отвал западнее маяка Толбухин*

* Примечание: географически подводный отвал, расположенный западнее маяка Толбухин, расположен за пределами Невской губы, при этом являясь основным действующим отвалом, принимающим изъятые донные отложения при реализации гидротехнических проектов в Невской губе

Компоненты геосистемы Невской губы в значительной степени зависят от антропогенной деятельности, развитие которой со второй половины XX в. значительно зависит от активного изменения человеком облика губы, прежде всего – от проведения масштабных гидротехнических работ. Они оказывают наибольшее воздействие на геосистему Невской губы. В частности, отмечается формирование техногенного наилка на большей части центральной акватории губы и по фарватерам.

В диссертации выделены особенности геосистемы ПЗ Невской губы и ее наиболее уязвимые компоненты к проведению гидротехнических работ. Особое внимание уделено району аванпорта «Бронка». Показано, что наибольшему воздействию подвержен ряд биологических сообществ геосистемы Невской губы и их компоненты – такие как зообентос, мальки рыб и макрофиты.

Глава 3. Материалы и методы исследования. Комплексно-индикаторный подход и методика для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне Невской губы

В настоящей главе описана разработанная авторская комплексно-индикаторная методика оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне (ОГСПЗ). Авторская методика включает в себя оценку ситуации в приморском локальном муниципалитете (ПЛМ) с численностью населения менее 100 тыс. человек и прилегающей акватории и элемента урбанизации, оказывающего наибольшее стрессовое воздействие. В качестве такого элемента выбран аванпорт «Бронка», строительство которого способствовало трансформации ПЗ в районе Ломоносовской отмели.

Авторская комплексно-индикаторная методика ОГСПЗ состоит из двух частей:

- оценка экологической уязвимости ПЗ, включает в себя 6 индикаторов, 2 промежуточных индекса и 1 обобщающий индекс;
- оценка геоэкологической ситуации в ПЗ при проведении гидротехнических работ, включает в себя 13 индикаторов, 3 промежуточных индекса и 1 обобщающий индекс.

Комплексно-индикаторная методика охватывает физическую, химическую, биологическую и социально-экономическую компоненты ОГСПЗ.

Разработана авторская классификация покомпонентного и общего влияния индикаторов и индексов на геоэкологическую ситуацию ПЗ, в основе которой лежит выделение пяти классов качества для компонентов антропогенного давления, компенсаторных действий и воздействия гидротехнических работ. Наилучшее значение индикатора или индекса в классификации геоэкологической ситуации соответствует «5», наихудшее – «1».

Комплексно-индикаторный подход ОГСПЗ ПЛМ исследуемого района состоит из следующих групп индикаторов, сформированных по индексам.

- Группа индекса негативного воздействия на окружающую среду включает в себя индикаторы 1–4.

1) Индикатор относительной плотности распределения предприятий (1):

$$I_{ED} = 1 - \frac{(E_{LM} + ESP_{LM}) / S_{LM}}{(E_{RM} + ESP_{RM}) / S_{RM}}. \quad (1)$$

2) Индикатор выбросов в атмосферу (2):

$$I_{EA} = 1 - \frac{EA_{LM} / R_{LM}}{EA_{RM} / R_{RM}}. \quad (2)$$

3) Индикатор плотности населения в прибрежной зоне (3):

$$I_{PD} = 1 - \frac{I_{LM}/S_{LM}}{I_{RM}/S_{RM}}. \quad (3)$$

4) Индикатор морской инфраструктуры (4):

$$I_{MI} = 1 - \left(\frac{FT_{LM}}{FT_{\max}} + \frac{CT_{LM}}{CT_{\max}} \right). \quad (4)$$

5) Индекс негативного воздействия «давления» на окружающую среду (5):

$$I_{NP} = \frac{I_{ED} + I_{EA} + I_{PD} + I_{MI}}{4}. \quad (5)$$

– Группа индекса компенсаторных мероприятий включает в себя индикаторы 6–7:

6) Индикатор расходов на охрану окружающей среды (6):

$$I_{PC} = \frac{EPC_{LM}/R_{LM}}{EPC_{RM}/R_{RM}} - 1. \quad (6)$$

7) Индикатор охраняемых природных территорий (7):

$$I_{PA} = \frac{PA_{LM}/S_{LM}}{PA_{RM}/S_{RM}} - 1. \quad (7)$$

8) Индекс компенсаторных мероприятий (8):

$$I_{COM} = \frac{I_{PC} + I_{PA}}{2}. \quad (8)$$

– Индекс экологической уязвимости прибрежной зоны (9):

$$I_S = \frac{I_{NP} + I_{COM}}{2}. \quad (9)$$

Выбор системы индексов и индикаторов для оценки уязвимости биологического компонента к проведению гидротехнических работ опирается на данные, полученные в ходе выполнения лабораторных экспериментов на грунтах Невской губы и восточной части Финского залива. Уязвимость макрозообентоса – личинок комара-звонца или мотыля *Chironomus plumosus* – определялась к перекрытию (засыпанию) грунтом, сбрасываемым с различной периодичностью. Уязвимость макрофитов – *Elodea canadensis* и *Ceratophyllum demersum* – определялась к воздействию увеличенной мутности и способности к вегетации в таких условиях. Эксперимент проведен по авторской методике, которая подробно описана в диссертационном исследовании.

Комплексно-индикаторный подход ОГСПЗ к воздействию гидротехнических работ включает в себя следующие индикаторы и индексы:

1) Индикатор временного загрязнения атмосферы (10):

$$I_{EA_{PC}} = 1 - \frac{EA_{PC_t}}{EA_{LM_t}}. \quad (10)$$

2) Индикатор нарушенности береговой линии (11):

$$I_{CL} = \frac{L_{LR} + L_{QW}}{L_{OR}} - 1. \quad (11)$$

3) Индикатор использования грунта (12):

$$I_{UOS} = \frac{V_{LR} - V_{SD}}{V_{DW}}. \quad (12)$$

4) Индикатор механического нарушения биотопа (13):

$$I_{BD} = 1 - \left(\frac{S_{DW} + 2 * S_{PLC}}{S_{LW}} \right). \quad (13)$$

5) Индикатор перекрытия донных биотопов (14):

$$I_{BR} = 1 - \left(\frac{S_{DR_s} + S_{TC_s} + S_{DUM_s}}{S_{LW}, S_{TA}} + \frac{S_{DUM_s}}{S_{DUM}} \right). \quad (14)$$

6) Индекс применимости грунтов по степени загрязнения (15):

$$I_{SP} = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^{n_{fr}} I_{SP_{frj}}}{n_{fr}}, & \text{если } I_{SP_i} \in [0; 1) \\ -1, & \text{если } I_{SP_i} > 1 \end{cases}. \quad (15)$$

7) Индикатор распространения шлейфа мутности (16):

$$I_{TURB} = 1 - \left(0,5 * \frac{V_{W_TURB}}{V_{W_DW}} + 0,5 * \frac{V_{WT_DM}}{V_{W_DUM}} \right). \quad (16)$$

8) Индекс относительного загрязнения воды (17):

$$I_{WP} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n I_{WP_i}}{n}. \quad (17)$$

9) Индикатор нарушенности зарослей макрофитов (18):

$$I_{MP} = 1 - \left(\frac{S_{DW} + S_{PLC}}{S_{LMP}} \right). \quad (18)$$

10) Индикатор нарушенности бентосных сообществ (19):

$$I_{LBC} = 1 - \left(\frac{K_{bpl_DW} * (S_{DW} + S_{PLC}) + K_{bpl_DUM} * S_{DW_DUM}}{S_{LW} + S_{DUM}} \right). \quad (19)$$

11) Индикатор нарушенности фитопланктона (20):

$$I_{PL_PH} = 1 - \left(\frac{K_{ppl_DW} * (V_{W_DW} + V_{PLC}) + K_{ppl_DUM} * V_{WDW_DUM}}{V_{LW} + V_{W_DUM}} \right). \quad (20)$$

12) Индикатор нарушенности зоопланктона (21):

$$I_{PL_Z} = 1 - \left(\frac{K_{zpl_DW} * (V_{W_DW} + V_{PLC}) + K_{zpl_DUM} * V_{WDW_DUM}}{V_{LW} + V_{W_DUM}} \right). \quad (21)$$

13) Индекс потери кормовых ресурсов (22):

$$I_{FS} = \frac{I_{MP} + I_{LBS} + I_{PL_PH} + I_{PL_Z}}{4}. \quad (22)$$

14) Индикатор потери рыбных ресурсов (23):

$$I_{FL} = 1 - \left(\frac{\sum_{k=1}^m B_{FDR_T_k}}{m \cdot B_{FLDR}} + \frac{\sum_{k=1}^m B_{FDUM_T_k}}{m \cdot B_{FLDUM}} + \frac{\sum_{k=1}^m B_{FDR_P_k}}{m \cdot B_{LCDR}} \right). \quad (23)$$

15) Индекс комплексного антропогенного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ (24):

$$I_{ADP} = \frac{I_{EAPC} + I_{CL} + I_{UOS} + I_{BD} + I_{BR} + I_{SP} + I_{TURB} + I_{WP} + I_{FS} + I_{FL}}{10}. \quad (24)$$

Глава 4. Оценка геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы на основе комплексно-индикаторного подхода

В настоящей главе проведена апробация разработанной авторской методики по ОГСПЗ Невской губы на основе комплексно-индикаторного подхода. Разработанная методика была применена для ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения менее 100 тыс. человек и имеющих свободное пространство для развития.

Система индикаторов состояния окружающей среды ПЛМ Невской губы и сравнительный анализ с Курортным прибрежным районом (ПР), относящимся к восточной части Финского залива, включает в себя индикаторы положительного и отрицательного воздействия. Из 15 проанализированных ПЛМ наилучшая геоэкологическая ситуация отмечается в Лахта-Ольгино при минимальном антропогенном давлении, наличии ООПТ и расходов на охрану окружающей среды. Отсутствие значительной антропогенной нагрузки, связанной с наличием промышленных предприятий, отсутствием портовой деятельности и низкой плотностью населения не гарантируют наивысшее положительное значение индекса экологической уязвимости ПЗ (ПЛМ Лисий Нос, Ушково, Солнечное, Серово, Комарово, Молодежное). В ПЛМ со значительным антропогенным давлением увеличение объемов компенсаторных мер способствовало частичному улучшению геоэкологической ситуации (ПЛМ Петергоф, Ломоносов, Сестрорецк). ПЛМ со средними значениями антропогенного давления и средним объемом природоохранных мероприятий относятся к категории умеренной экологической уязвимости (ПЛМ Репино, Смолячково, Зеленогорск, Кронштадт, Стрельна) (рисунок 2).

ПЛМ прибрежной зоны Невской губы и Курортного ПР по индексу экологической уязвимости могут быть классифицированы по шкале от стабильных до уязвимых (таблица 1). С течением времени геоэкологическая ситуация может меняться в связи с изменением антропогенного давления и развития природоохранных мероприятий. В этом случае ПЛМ могут переходить из одной категории в другую.

В работе рассчитана корреляционная зависимость для оценки взаимосвязи между разработанным комплексом индикаторов и индексов оценки экологической уязвимости ПЗ для временного промежутка 2008–2016 гг. для 6 ПЛМ ПЗ Невской губы и 9 – восточной части Финского залива. Внутри группы каждого индикатора в период 2008–2016 гг. наблюдалась тесная связь, в среднем составляющая «0,98». Исключением явилось среднее значение коэффициента корреляции внутри группы индикатора охраняемых природных территорий, которое составило «0,73», ввиду создания нескольких ООПТ в указанный период времени, а связь между 2008 с 2011,

2012 и 2013 гг. составила «0,64», «0,57» и «0,48», соответственно. Между группами индикаторов значения коэффициентов корреляции варьировались «±0», отражая отсутствие связи. Значимая положительная зависимость отмечается между индикаторами относительной плотности предприятий и выбросов в атмосферу, составившая от «0,45» до «0,68». Количество предприятий, имеющих стационарные источники выбросов, и объем выбросов, производимых на предприятиях, могут как иметь значимую связь, так и не иметь ее. Исключать один из индикаторов не имеет необходимости.

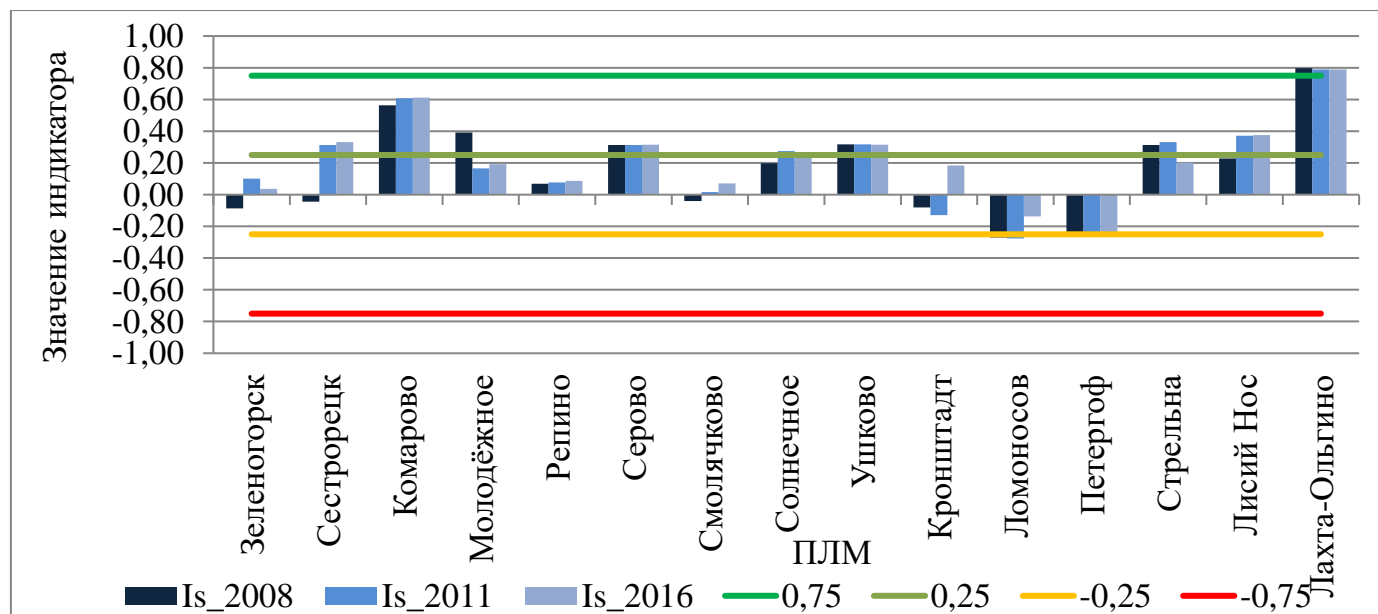


Рисунок 2 – Индекс экологической уязвимости прибрежной зоны ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Таблица 1 – Распределение ПЛМ Невской губы и Курортного ПР с численностью населения до 100 тыс. человек по индексу экологической уязвимости ПЗ в 2008–2016 гг.

ПЛМ численностью до 100 тыс. человек		Категория геоэкологической ситуации								
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ПЛМ восточной части Финского залива Санкт-Петербурга	Зеленогорск	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Сестрорецк	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	Комарово	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Молодёжное	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	Репино	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Серово	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Смолячково	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Солнечное	3	3	4	4	4	4	4	4	4
	Ушково	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ПЛМ Невской губы	Кронштадт	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Ломоносов	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	Петергоф	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	Стрельна	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	Лисий Нос	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	Лахта-Ольгино	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Примечание. Наилучшая геоэкологическая ситуация – «5», наихудшая – «1»

Разделение индикаторов по индексам негативного воздействия и компенсаторных мер оценено на основе рассчитанных значений коэффициентов корреляции. Среднее значение коэффициентов корреляции внутри группы каждого из индекса составило от «0,88» до «0,99» во временном промежутке 2008–2012 гг. Значимая прямая зависимость наблюдается между индексом негативного воздействия «давления» на окружающую среду и индексом комплексного антропогенного воздействия со значениями коэффициентов корреляции от «0,65» до «0,75». Значения коэффициентов корреляции между индексом компенсаторных мероприятий и индексом комплексного антропогенного воздействия находились в диапазоне от «минус 0,44» до «минус 0,23» и имеет слабую отрицательную зависимость. Полученные результаты отражают разделение индикаторов по группам положительного и отрицательного воздействия.

Проведенные лабораторные эксперименты показали разброс в уязвимости компонентов геосистемы Невской губы к гидротехническим работам, что связано с толщиной и частотой перекрытия грунтом, его гранулометрическим составом и увеличением мутности воды. Один и тот же вид гидробионтов по-разному реагирует на изменение указанных выше параметров. Выживаемость типичного представителя Невской губы *Chironomus plumosus* варьировалась от 7 до 100 % в зависимости от условий экспериментов. Выживаемость и рост макрофитов, типичных для Невской губы, *Ceratophyllum demersum* и *Eloдея canadensis*, значительно варьировались для «мутного» и прозрачного аквариума. Наиболее заметные результаты отмечались для *E. canadensis*, где в мутном аквариуме рост практически не наблюдался, тогда как в прозрачном рост в пределах 25 дней эксперимента составил более чем 300 %.

ОГСПЗ при проведении гидротехнических работ при строительстве аванпорта «Бронка» оценивается как «слабое воздействие» при создании намывной территории и «умеренное воздействие» при реализации первого (МК-1) и второго (МК-2) этапов создания подходного канала аванпорта «Бронка». По отдельным этапам значение комплексного индикатора изменялось от «0,35» до «минус 0,01» (таблица 2), при значительных объемах гидротехнических работ на большой площади акватории и сравнительно небольшой площади в ПЗ, соответственно.

Наибольший вклад воздействия на ПЛМ расположения портового комплекса или гидротехнических работ оказывает объем выбросов веществ в атмосферу при работе техники, которая по объему может значительно превышать выбросы от предприятий. На водную часть ПЗ наибольшее воздействие оказывают распространение шлейфа мутности, осаждение взвешенного вещества, вторичное загрязнение водной толщи при взмучивании грунта и потери компонентов экосистемы. Значение индекса и входящих в него индикаторов может отличаться для различных геосистем и при изменении вариантов расположения объекта.

Разработанная комплексно-индикаторная система позволяет адекватно оценить геоэкологическую ситуацию в ПЗ Невской губы по физическим, химическим, биологическим и социально-экономическим факторам воздействия в условиях ее урбанизации, трансформации и техногенеза.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Осуществлено обобщение российских и международных индикаторных и индексных методов и подходов к геоэкологической оценке прибрежной зоны для

глобального, регионального и локального уровней. Доказана применимость и необходимость разработки комплексно-индикаторной системы для оценки геоэкологической ситуации для локальных компонентов природно-технических систем в прибрежной зоне.

Таблица 2 – Комплексно-индикаторная оценка воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ Невской губы при создании аванпорта «Бронка» и на двух этапах формирования подходного морского канала (МК-1 и МК-2)

Индикатор/индекс, безразмерный	Значение индикатора/индекса, безразмерное			
	Намыв территории	МК-1	МК-2	Среднее значение
Индикатор временного загрязнения атмосферы	0,99	0,91	0,87	0,92
Индикатор нарушенности береговой линии	0,13	1,00	1,00	0,71
Индикатор использования грунта	0,82	-0,93	-1,00	-0,37
Индикатор механического нарушения биотопа	0,94	0,97	0,97	0,96
Индикатор перекрытия донных биотопов	0,87	-1,00	-0,06	-0,06
Индикатор применимости грунтов по степени загрязнения	0,87	0,90	0,91	0,89
Индикатор распространения шлейфа мутности	-0,53	-1,00	-1,00	-0,84
Индикатор относительной загрязненности воды	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
Индекс потери кормовых ресурсов	-0,17	-0,22	-0,30	-0,23
Индекс потери рыбных ресурсов	0,60	0,32	0,94	0,62
Индекс комплексного антропогенного воздействия гидротехнических работ	0,35	-0,01	0,13	0,16

2. Разработана авторская комплексно-индикаторная методика для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне на основе комплекса из геоэкологического и индикаторного подходов, включившая в себя 19 индикаторов, 5 групповых индекса воздействия и 2 обобщающих индекса. Комплексно-индикаторная методика охватывает физическую, химическую, биологическую и социально-экономическую компоненты геосистемы прибрежной зоны. Методика включила в себя оценку геоэкологической ситуации для обоснованной территориальной географической единицы – приморского локального муниципалитета – и единицы техногенеза в природно-технической системе – гидротехнических работ.

3. Разработана методика и проведено лабораторное моделирование по оценке уязвимости компонентов водной экосистемы к основным негативным факторам гидротехнических работ. Показана вариативность уязвимости макрозообентосного компонента геосистемы Невской губы к перекрытию грунтом в зависимости от толщины, гранулометрического состава и частоты перекрытия. Показана уязвимость представителей макрофитов Невской губы к проведению гидротехнических работ и содержанию взмученного вещества в толще воды и его осаждением.

4. Проведена оценка геоэкологической ситуации в прибрежной зоне Невской губы для обоснованной территориальной географической единицы – приморского локального муниципалитета для периода 2008–2016 гг., и элемента техногенеза в природно-технической системе – гидротехнического проекта аванпорт «Бронка» за период строительства 2011–2017 гг. Показано, что при реализации гидротехнических работ происходит стрессовое воздействие на наземно-воздушную и водную среду. На наземную часть геосистемы прибрежной зоны Невской губы наибольшее воздействие оказывают выбросы в атмосферу, объемы которых от работы дноуглубительной техники могут превышать выбросы от всех предприятий района расположения портового комплекса. На водную часть геосистемы прибрежной зоны Невской губы наибольшее воздействие оказывают возрастание мутности и осаждение взвешенного вещества, вторичное загрязнение водной толщи при взмучивании грунта и потери компонентов экосистемы.

Выводы

1. Оптимальная индикаторная и индексная система оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне в условиях техногенеза должна строиться на комплексе из геоэкологического и индикаторного подходов, включающих в себя оценку взаимодействия природных и социально-экономических параметров.

2. Оценка пространственно-временного распределения антропогенного воздействия на геоэкологическую ситуацию в прибрежной зоне Невской губы показала свою многокомпонентность и межгодовую зависимость:

- в экологических аспектах социально-экономических параметров: как правило, отсутствие резких изменений; большинство изменений связано с предыдущим и последующим годом;
- в положительных компенсаторных мероприятиях (отмечается дискретность в создании особо охраняемых природных территорий);
- в физико-химических компонентах геосистемы при проведении гидротехнических работ: в наземно-воздушной среде – увеличение выбросов от работающей техники сопоставимо с объемами производств в приморских локальных муниципалитетах с населением менее 100 тыс. человек; в водной – физическое изменение параметров водной среды, увеличение концентрации взвешенных веществ;
- в биологических компонентах геосистемы при проведении гидротехнических работ.

3. Разработанная комплексно-индикаторная методика к оценке геоэкологической ситуации в прибрежной зоне позволяет оценить экологические и социально-экономические аспекты деятельности человека в прибрежной зоне, с учетом стрессового воздействия гидротехнических работ, по 19 индикаторам, 5 промежуточным и 2 обобщающим индексам.

4. Наилучшая геоэкологическая ситуация определена в приморском локальном муниципалитете Лахта-Ольгино, где при относительно низком антропогенном давлении осуществляются природоохранные мероприятия.

5. Уязвимость биологических компонентов экосистемы прибрежной зоны к проведению гидротехнических работ при оценке краткосрочного влияния показала следующую зависимость:

- сообщества макрозообентоса: гранулометрический состав (плотность грунта) > единовременная толщина перекрытия грунтом > частота перекрытия > геохимический состав грунта;
- сообщества макрофитов: периодичность взмучивания > количество осажденного взвешенного вещества.

6. Уязвимость бентосных сообществ по отношению к гидротехническим работам зависит от количественных характеристик воздействия. При перекрытии дна грунтом толщиной 2 см один раз в сутки гибель бентосных беспозвоночных достигает 90–100 %. Увеличение концентрации взвешенных веществ в водной толще приводит к снижению темпов прироста водных макрофитов с 200–300 % до 25–50 % на протяжении 25 дней.

7. Пространственно-временное распределение воздействия на геоэкологическую ситуацию в прибрежной зоне Невской губы зависит от развития производственной и морехозяйственной деятельности:

- выбросы в атмосферу от работающей дноуглубительной техники по объемам могут значительно превышать выбросы от промышленных предприятий в приморском локальном муниципалитете с населением менее 100 тыс. человек;
- наибольшее дополнительное воздействие на геоэкологическую ситуацию в прибрежной зоне Невской губы оказывают увеличение мутности и потеря кормовых ресурсов при реализации гидротехнических проектов.

Рекомендации

Разработанная комплексно-индикаторная методика по оценке геоэкологической ситуации прибрежной зоны может быть внедрена в практику принятия решений на начальном уровне планирования проведения гидротехнических работ, которая учитывает исходные природные условия и дает возможность сопоставления экологических эффектов различных сценариев при выборе наилучшего решения.

Методология комплексно-индикаторной методики применима в образовательном процессе в высших учебных заведениях и в системе повышения квалификации как элемент выбора принятия решений при оценке геоэкологической ситуации в прибрежной зоне для возможного дальнейшего развития антропогенной деятельности, выявления необходимости применения дополнительных мер по охране окружающей среды или снижению негативного воздействия, при принятии решений о реализации гидротехнических проектов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в расширении применения методики на другие территории, природно-технические системы и гидротехнические проекты в прибрежной зоне. Проведение экспериментальной оценки уязвимости биологических компонентов геосистемы при проведении гидротехнических работ для разных природных условий позволит совершенствовать, как теоретические методы, так и практическую применимость методов сохранения качества окружающей среды.

Основные публикации по теме диссертационной работы

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. 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.

2. Лебедева О. В., Леднова Ю. А., Волнина О. В. Экологические аспекты гидротехнических работ (дноуглубления) и прокладки трубопроводов по дну водоемов // Инженерные изыскания. – 2010. – № 2. – С. 47–49.

3. 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 Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2012. – № 25. – С. 107–121.

4. Гогоберидзе Г. Г., Карелина Л. М., Богуш А. И., Антилла Пиа, Ловен К., Кононенко М. Р., Леднова Ю. А., Мамаева М. А. Сравнительный подход в анализе экологического законодательства Российской Федерации и Финляндии // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2013. – № 32. – С. 130–135.

5. Карлин Л. Н., Абрамов В. М., Гогоберидзе Г. Г., Леднова Ю. А. Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской Федерации на основе индикаторной оценки морского потенциала // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2013. – № 30. – С. 181–188.

6. Шилин М. Б., Жигульский В. А., Бобылев Н. Г., Ахмад Алаа, Леднова Ю. А., Дун Сянли. Развитие комплекса компенсационных мероприятий по снижению негативного воздействия строительства аванпорта Бронка на южный берег Невской губы // Естественные и технические науки. – 2020. – № 3. – С. 178–188.

Статьи в изданиях WoS и Scopus:

1. Chusov A., Lednova J., Shilin M. Ecological assessment of dredging in the Eastern Gulf of Finland // В сборнике: Ocean: Past, Present and Future – 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2012. – 2012. – P. 1–4.

2. Gogoberidze G. G., Mamaeva M. A., Lednova J. A. Comprehensive recognition of the long- and short-term factors for the socio-economic efficiency estimation of dredging projects // В сборнике: Ocean: Past, Present and Future – 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2012. – 2012. – P. 1–6.

3. Lednova J., Chusov A., Shilin M. Eco-monitoring of dredging in the Gulf of Finland // В сборнике: Proceedings of the 10th Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 2013 – MEDCOAST 2013 Joint Conference 2013. – P. 1024–1034.

4. Gogoberidze G., Karlin L., Abramov V., Lednova J. Indicator method of estimation of human impact assessment for coastal local municipalities // В сборнике: Measuring and Modeling of Multi-Scale Interactions in the Marine Environment – IEEE/OES Baltic International Symposium 2014, BALTIC 2014. – 2014. – P. 1–8.

5. Lednova J., Gogoberidze G. Principles of dredging eco-monitoring in the eastern Gulf of Finland // В книге: Coastal Ecosystems: Types, Sustainable Management and Conservation Strategies / T. Masura (Ed.). – Nova Science Publisher, 2014. – P. 151–163.

6. Shilin M., Eremina T., Mamaeva M., Chusov A., Lednova J. Eco-sensitivity to dredging in the Gulf of Finland // В сборнике: 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 2015. – 2015. – P. 339–350.

7. Chusov A., Lednova J., Zhigulsky V., Shilin M., Ershova A., Kouzov S. Nature protected area as compensation action // 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017. – 2017. – Vol. 1. – P. 257–268.

8. Gogoberidze G., Abramov V., Ershova A., Popov N., Lednova J. The concept and methodology of integrated assessment of coastal systems and coastal infrastructure sustainability // В сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation. – 2017. – P. 951–958.

9. Lednova J., Chusov A., Shilin M., Gogoberidze G. Integrated indicator approach for economic-environmental assessment of coastal local municipalities // 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2018. – 2019. – P. 1–10.

10. Lednova Ju., Gogoberidze G., Zhigulsky V., Shilin M., Chusov A. Environmental indicator approach for dredging // Proceedings of the Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 19, 22–26 October 2019, Marmaris, Turkey / E. Ozhan (Ed.). – Turkey: Mediterranean Coastal Foundation (MEDCOAST), Ortaca, Mugla, 2019. – Vol. 1. – P. 161–172.

11. Chusov A., Shilin M., Gogoberidze G., Lednova J., Bobylev N. Experimental studies of benthos resistance to mechanical burying under the dredging material // In Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering 2019 (TPACEE 2019). – E3S Web of Conferences, 2020. – Vol. 164. – P. 1–7.

Статьи в прочих изданиях РИНЦ и тезисах докладов на конференциях:

1. Леднова Ю. А., Лукьянов С. В., Мамаев М. А., Шилин М. Б. Экологические особенности дреджинга в восточной части Финского залива: вопросы исследования и обучения // Тез. межд. конф. «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности» 4–8 октября 2010, Санкт-Петербург. – 2010. – С. 347–348.

2. Shilin M., Lukjanov S., Zhakova L., 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.

3. Леднова Ю. А. Использование дреджингового материала как фактора повышения экологической устойчивости прибрежной геосистемы // сб. науч. Статей по материалам II Межд. Науч-практ. Конф., посв 15-летию со дня основания филиала РГГМУ в г. Туапсе «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления» 4–8 октября 2011 г. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2011. – С. 302–303.

4. Шилин М. Б., Чусов А. Н., Леднова Ю. А., Аносов В. А., Спиридонов М. А., Рябчук Д. В. Устойчивость бентосных гидробионтов к механическому засыпанию грунтом, извлеченным при дноуглублении // Труды 2-й Межд. конф. «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акваториях водоемов» 1-6 августа 2011. – Новосибирск, 2011. – С. 379–381.

5. Шилин М. Б., Мамаева М. А., Леднова Ю. А., Волнина О. В. Дреджинг как фактор оптимизации экологической ситуации в береговой зоне // Гидротехника. – 2012. – № 1 (26). – С. 100–103.

6. Шилин М. Б., Леднова Ю. А. Исследование эффекта засыпания грунтом дноуглубления донных беспозвоночных // Сб. материалов XII Межд. Экол. Форума «День Балтийского моря». – СПб: ООО «Цветпринт», 2011 – С. 144–145.

7. Горохова Е.А., Леднова Ю.А. Оценка экологического воздействия портостроительных работ в Лужской губе // В сборнике: Морские берега – эволюция, экология, экономика Материалы XXIV Международной береговой конференции, посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега»: в 2 томах. Рабочая группа «Морские берега», Российский государственный гидрометеорологический университет. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2012. – С. 155–160.

8. Чусов А. Н., Шилин М. Б., Лукьянов С. В., Леднова Ю. А. Оптимизация инфраструктуры прибрежно-морских зон с использованием инструментария дреджинга // тр. 7 научно-практ. конф. «Строительство в прибрежных курортных регионах». – Сочи: Сочинский ГУ, 2012. – С. 118–120.

9. Гогоберидзе Г. Г., Леднова Ю. А. Возможности применения методологии КУПЗ и принципов морского пространственного планирования в Российской Федерации // Региональная экология. – 2014. – № 1-2 (35). – С. 141–144.

10. Гогоберидзе Г. Г., Леднова Ю. А. Оценка экологических рисков антропогенного воздействия на приморские муниципалитеты восточной части Финского залива (русский/english) // Региональная экология. – 2015. – № 4 (39). – С. 147–163.

11. Lednova Yu., Gogoberidze G. Integrated indicator assessment of coastal sensitivity to marine port activities // В сборнике: EMECS 11 – Sea Coasts XXVI. Joint conference. Managing risks to coastal regions and communities in a changing world. Abstract book. Russian State Hydrometeorological University (RSHU), P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS) and A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). – 2016. – P. 119.

12. Леднова Ю. А. Оценка антропогенной нагрузки гидротехнических работ на основе индикаторного подхода на экосистемы восточной части Финского залива // В сборнике: Арктические берега: путь к устойчивости Материалы XXVII Международной береговой конференции / Отв. ред. Е. А. Румянцева. – 2018. – P. 242–245.

Учебные пособия:

1. Шилин М. Б., Голубев Д. А., Леднова Ю. А. Техносферная безопасность дреджинга : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров «Техносферная безопасность» / М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т, Приоритетный нац. проект «Образование», Нац. исслед. ун-т. Санкт-Петербург, 2010. – 386 с.

2. Шилин М. Б., Чусов А. Н., Брей Р.-Н., Леднова Ю. А. Техносферная безопасность подводных горнотехнических работ : учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 280 с.