

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА
ВЕЛИКОГО» (СПбПУ)

На правах рукописи

ЛЕДНОВА ЮЛИЯ АНАТОЛЬЕВНА

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель
докт. геогр. наук, профессор

М.Б. Шилин

Санкт-Петербург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Список сокращений.....	5
	Введение.....	6
Глава 1.	Системы индикаторов и индексов для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне.....	15
1.1.	Понятие прибрежной зоны и комплексного управления.....	15
1.1.1.	Определение прибрежной зоны.....	15
1.1.2.	Морская хозяйственная деятельность.....	16
1.1.3.	Принципы комплексного управления прибрежными зонами.....	19
1.2.	Системы индикаторов и индексов.....	22
1.2.1.	Подходы к выбору индикаторных и индексных систем.....	23
1.2.2.	Принципы, структуры и критерии разработки индикаторов.....	24
1.3.	Индикаторные и индексные системы оценки уязвимости в практике комплексного управления прибрежной зоной.....	29
1.3.1.	Индикаторные и индексные системы оценки экологической уязвимости	29
1.3.2.	Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния глобального уровня, применимые к прибрежной зоне.....	31
1.3.3.	Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния регионального уровня, применимые к прибрежной зоне.....	37
1.3.4.	Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния на глобальном и региональном уровнях, применимые к прибрежной зоне.....	39
1.3.5.	Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния на локальном уровне, применимые к прибрежной зоне.....	40
1.3.6.	Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния на региональном и локальном уровнях, применимые к прибрежной зоне.....	41
1.3.7.	Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния для всех уровней воздействия, применимые к прибрежной зоне.....	42
1.3.8.	Российский опыт оценки уязвимости в комплексном управлении прибрежной зоной с применением индикаторных и индексных систем.....	43
1.3.9.	Российские индикаторные и индексные системы оценки воздействия гидротехнических работ на окружающую среду.....	45
1.4.	Оценка воздействия на природно-технические системы.....	48

Глава 2.	Описание района исследований. Техногенез и роль гидротехнических объектов в формировании геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы.....	53
2.1.	Физико-географическое описание Невской губы	53
2.2.	Особенности биологической характеристики Невской губы в условиях техногенеза.....	56
2.3.	Техногенное воздействие на Невскую губу и формирование природно-технической системы.....	57
2.3.1.	Урбанизация прибрежной зоны Невской губы.....	57
2.3.2.	Формирование природно-технической системы Невской губы.....	59
2.3.3.	Портовая и транспортная деятельность в Невской губе.....	63
2.3.4.	Прочие негативные воздействия техногенеза на окружающую среду	64
2.4.	Оценка воздействия техногенного объекта в прибрежной зоне на примере аванпорта «Бронка».....	66
2.4.1.	Технические характеристики аванпорта «Бронка».....	66
2.4.2.	Природные условия в районе строительства аванпорта «Бронка».....	68
2.4.3.	Уязвимые компоненты экосистемы района строительства аванпорта «Бронка».....	69
Глава 3.	Материалы и методы исследования. Комплексно-индикаторный подход и методика для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне Невской губы.....	71
3.1.	Исходные данные к объектам исследования в Невской губе: приморские локальные муниципалитеты Санкт-Петербурга и аванпорт «Бронка».....	72
3.1.1.	Приморские локальные муниципалитеты Санкт-Петербурга с численностью менее 100 тысяч человек	73
3.1.2.	Аванпорт «Бронка».....	74
3.2.	Теоретическая основа к методике оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне.....	75
3.3.	Методологические подходы к разработке комплексно-индикаторного подхода и методики оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне.....	77
3.4.	Комплексно-индикаторная методика к оценке геоэкологической ситуации в прибрежной зоне для приморских локальных муниципалитетов.....	78
3.4.1.	Группа индекса негативного воздействия на окружающую среду.....	80
3.4.2.	Группа индекса компенсаторных мероприятий.....	83

3.5.	Комплексно-индикаторный подход к оценке геоэкологической ситуации в прибрежной зоне к воздействию гидротехнических работ.....	85
3.5.1.	Методика лабораторных исследований по оценке уязвимости биоты к гидротехническим работам.....	86
3.5.2.	Комплексно-индикаторная методика для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне при проведении гидротехнических работ	92
Глава 4.	Оценка геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы на основе комплексно-индикаторного подхода	109
4.1.	Результаты комплексно-индикаторной оценки качества окружающей среды приморских локальных муниципалитетов	109
4.1.1.	Индикаторы негативного воздействия на окружающую среду.....	110
4.1.2.	Индикаторы компенсаторных мероприятий.....	118
4.1.3.	Индекс экологической уязвимости прибрежной зоны.....	123
4.1.4.	Корреляционная пространственно-временная зависимость индикаторов и индексов.....	125
4.2.	Результаты лабораторного эксперимента по определению уязвимости биологических компонентов геосистемы к проведению гидротехнических работ	129
4.2.1.	Характеристика грунтов.....	130
4.2.2.	Результаты лабораторных исследований с донными макрофитами.....	131
4.2.3.	Результаты лабораторных исследований с макрозообентосом.....	136
4.3.	Результаты использования комплексно-индикаторного подхода для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне при проведении гидротехнических работ.....	144
	Заключение.....	157
	Список использованной литературы.....	161

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Б/ПИ	– без учета передвижных источников
ЕС	– Европейский союз
КЗС	– комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений
КУПЗ	– комплексное управление прибрежными зонами
ЛПР	– лица, принимающие решения
МК-1	– первая очередь строительства морского подходного канала аванпорта «Бронка»
МК-2	– вторая очередь строительства морского подходного канала аванпорта «Бронка»
ММПК	– многофункциональный морской перегрузочный комплекс
НИИ	– научно-исследовательский институт
ОАО	– открытое акционерное общество
ОВОС	– оценка воздействия на окружающую среду
ОГСПЗ	– оценка геоэкологического состояния прибрежной зоны
ООН	– Организация Объединенных Наций
ООО	– общество с ограниченной ответственностью
ООПТ	– особо охраняемые природные территории
ОЭСР	– Организация экономического сотрудничества и развития
ПДК	– предельно-допустимая концентрация
ПЗ	– прибрежная зона
ПИ	– с учетом передвижных источников
ПЛМ	– приморский локальный муниципалитет
ПР	– приморский административный район
ПТС	– природно-техническая система
РГГМУ	– Российский государственный гидрометеорологический университет
РФ	– Российская Федерация
США	– Соединенные Штаты Америки
ЮНЕП	– программа ООН по окружающей среде

ВВЕДЕНИЕ

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 [24]. 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 ПЗ, а в конечном счете – привела к формированию техносферы [44, 133, 146].

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 [61, 170, 172]. Методологическая оценка геоэкологической ситуации при увеличивающемся антропогенном давлении на ПЗ, которая бы комплексно учитывала абиотические, биотические и антропогенные факторы, до настоящего времени не разработана. В диссертационной работе объектом исследования является геосистема Невской губы, важнейшим антропогенным компонентом которой является Санкт-Петербург – крупнейший мегаполис Балтийского региона с более чем пятимиллионным населением.

Санкт-Петербург расположен в вершине Невской губы – своеобразного и географически достаточно четко очерченного водоема. Город с более чем пятимиллионным населением основан в 1703 г. в виде небольшой крепости. Расширив свои границы, он охватил всю прибрежную часть Невской губы и продолжает активно развиваться [47, 140, 146]. Настоящее диссертационное исследование посвящено оценке геоэкологической ситуации в ПЗ Невской губы в условиях ускоряющегося техногенеза.

Актуальность темы исследования обусловлена быстрым изменением геоэкологической ситуации в ПЗ Невской губы после начала функционирования комплекса защитных сооружений (КЗС), который превратил природную геосистему внешнего эстуария реки Невы в природно-техническую систему (ПТС), в существенной степени управляемую человеком.

Для оценки состояния ПЗ в настоящее время получают активное развитие два подхода: геоэкологический и индикаторный. Данные подходы применяются, как правило, на глобальном или региональном уровнях, стирая локальные различия между небольшими, но разнообразными

по экологическим условиям и антропогенному воздействию геосистемами масштаба местных муниципальных образований, которые являются составными частями цельного и стабильного развития надрегиональных образований.

Быстрое изменение геоэкологической ситуации в ПЗ Невской губы укладывается в общую картину «береговой революции», заключающейся в техногенном развитии и экономическом росте приморских городов, увеличении численности населения, сельскохозяйственного и промышленного производства, с развивающейся или уже развитой портовой инфраструктурой и соответствующим увеличением грузо- и пассажироперевозок морскими видами транспорта [47, 129, 146, 175]. Интенсифицирующаяся антропогенная деятельность меняет естественные ландшафты, трансформируя, преобразовывая и оказывая стрессовое воздействие на природную прибрежную среду [233, 235], биологически богатую, но уязвимую к антропогенной деятельности [47, 157], формируя ПТС и, в целом, техносферу. Формируемые ПТС, как правило, характеризуются снижением качества прибрежной среды, перенаселенностью, загрязнением, переэксплуатацией природных ресурсов, и как следствие – общим снижением функциональных свойств [157]. Актуальность приобретает вопрос оценки геоэкологической ситуации в целом, влияния отдельных компонентов ПТС на ПЗ и возможности дальнейшей антропогенной деятельности. Данная деятельность не должна иметь разрушающее негативное воздействие на ПЗ и функционирование прибрежных биологических сообществ, или такое воздействие должно быть минимизировано [61, 170, 172] и согласовываться с принципами комплексного управления прибрежной зоной (КУПЗ).

В настоящей работе под *геоэкологической ситуацией* понимается совокупность абиотических, биотических и антропогенных факторов, определяющих ретроспективное, текущее и будущее состояние геосистемы. Под *геосистемой* понимается совокупность компонентов географической оболочки, связанных между собой потоками вещества, энергии и информации.

Геосистема ПЗ Невской губы испытывает все возрастающую нагрузку ввиду транспортного, промышленного, гидротехнического и жилищного строительства, связанного как с быстро развивающимся Санкт-Петербургом, так и с необходимостью компенсации утраты ключевых советских портов на Балтике. ПЗ Невской губы является наиболее подверженным стрессовому антропогенному воздействию районом восточной части Финского залива [47]. Так, объем гидротехнических работ в Невской губе, проводимых для создания и поддержания работоспособности портовых комплексов, находится на исключительно высоком уровне с конца 1990-х – начала 2000 гг., оказывая значительное негативное воздействие на прибрежные экосистемы [34, 44, 48, 99, 129, 146] ввиду трансформации среды неживой – природных условий, и прямым и косвенным воздействием на среду живую – биологические сообщества

[12, 15, 30, 97, 56, 118, 121, 138, 140, 145, 167, 156]. Невская губа исследуется специалистами в разных областях знания – океанологами, гидрометеорологами, геологами, биологами, гидротехниками, специалистами в области математического моделирования экологических процессов, но комплексный подход к оценке геоэкологической ситуации в этом уникальном географическом объекте все еще не сформировался.

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 природопреобразующим 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 – Н. Bossel (2001), В. В. Гордеев с соавторами (2006), J. Birkmann (2006), M. L. Paracchini с соавторами (2011), В. Moldan с соавторами (2012), J. Wu and T. Wu (2012), C. Liguete с соавторами (2013), G. Alexandrakis с соавторами (2014), Р. Д. Косьян (2017, 2018), К. Kantamaneni с соавторами (2019);
- в сфере комплексного управления прибрежной зоной, морского пространственного планирования и морехозяйственной деятельности – Н.Л. Плинка (1998, 2009), Г. Г. Гогоберидзе (2003, 2005, 2008, 2010), М. Р. Кононенко (2003, 2014),

- С. Б. Савельева (2005) и с соавторами (2006), Г. Г. Матишов (2007, 2015), В. В. Денисов (2008), K. Sherman and G. Hempel (2008), Л. Н. Карлин (2009), В. В. Крыленко и М. В. Крыленко (2017);
- в изучении природно-технических систем – М. П. Федоров (2010), А. Н. Чусов (2017);
 - в сфере воздействия на компоненты геосистем гидротехнических работ – R. N. Bray и с соавторами (1997, 2008, 2010, 2013), R. C. Newell с соавторами (1998), С. А. Патин (2000), М. Б. Шилин (2003, 2006, 2009–2014, 2016–2017, 2019), В. А. Жигульский с соавторами (2010, 2012–2013, 2016–2019), Н. М. Tillin с соавторами (2011);
 - в сфере экологической уязвимости в природно-технических и урбанизированных системах – В. L. Turner с соавторами (2003), В. Б. Погребов (2006, 2009, 2011), W. N. Adger (2006), Я. Ю. Блиновская с соавторами (2014);
 - в оценке протекающих природных и антропогенных процессов в ПЗ Невской губы – Р. А. Нежиховский (1981), А. Ф. Алимов (1999, 2008), С. М. Голубков (1999, 2008, 2014, 2015, 2017, 2018), И. В. Телеш (1999, 2001, 2008), М. А. Спиридонов с соавторами (2010), А. А. Максимов (2011, 2014, 2018), В. А. Петухов (2011, 2013, 2014), Д. В. Рябчук с соавторами (2011, 2014, 2017), Г. Т. Фрумин (2011), В. А. Румянцев с соавторами (2012), Ю. И. Губелит и Н. А. Ковальчук (2013), Т. В. Максимова (2013), О. Н. Суслопарова с соавторами (2013), А. Е. Рыбалко (2014, 2017), Н. К. Федорова (2014), Е. В. Балущкина (2015, 2017, 2018), В. А. Шахвердов (2015), А. С. Шурухин с соавторами (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 на основе 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 «ILEPRA – 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 XXIII Международной конференции «Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности», Санкт-Петербург, 2010 г.; на 2-й Международной конференции «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акваториях водоемов», Новосибирск, 2011 г.; на 8-й Международной конференции «Baltic Sea Science Congress», Санкт-Петербург, 2011 г.; на 2-й Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию со дня основания филиала РГГМУ в г. Туапсе «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления», Туапсе, 2011 г.; на XII Международном экологическом форуме «День Балтийского моря», Санкт-Петербург, 2011 г.; на 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), IEEE/OES, Литва, г. Клайпеда, 2012; на XXIV Международной береговой конференции, посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега» «Морские берега – эволюция, экология, экономика», Туапсе, 2012 г.; на 7-й научно-практической конференции «Строительство в прибрежных курортных регионах», Сочи, 2013 г.; на Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 10 – MEDCOAST 2013 Joint Conference, Турция, г. Мармарис, 2013 г.; на 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), 2014 IEEE/OES, Эстония, г. Таллинн, 2014 г.; на Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 15, Болгария, г. Варна, 2015 г.; на EMECS 11 – Sea Coasts XXVI. Joint conference «Managing risks to coastal regions and communities in a changing world», Санкт-Петербург, 2016 г.; на 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017, Мальта, г. Меллиха, 2017 г.; на 17th International Multidisciplinary Scientific

GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, Болгария, г. Албена, 2017 г.; на XXVII Международной береговой конференции «Арктические берега: путь к устойчивости», 2018 г.; на 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2018, Литва, г. Клайпеда; на Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 19, Турция, г. Мармарис, 2019 г., на Международной научной конференции «Актуальные проблемы зеленой архитектуры, гражданского строительства и экологии — TRACSEE 2019», г. Москва, 2019 г.

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.

ГЛАВА 1. СИСТЕМЫ ИНДИКАТОРОВ И ИНДЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

1.1. Понятие прибрежной зоны и комплексного управления

1.1.1. Определение прибрежной зоны

Понятие прибрежной зоны было сформулировано в развитых приморских странах параллельно с формированием концепции комплексного управления прибрежной зоной (КУПЗ) [28] и необходимостью определения объекта усиливающегося антропогенного воздействия. В таблице 1.1 приводится сравнительная характеристика различных подходов к определению ПЗ.

Таблица 1.1 – Понятие прибрежной зоны

Название программы	Состав, границы и определение прибрежной зоны
Международная программа по взаимодействию системы суша-океан в прибрежной зоне (международное название: the Land Ocean Interactions in the Coastal Zone – LOICZ)	Область на стыке суши и моря. На суше – прибрежная равнина, в море – край континентального шельфа, периодически затапливаемый и осушаемый во время колебания моря в позднечетвертичный период [3, 201]
Пилотный анализ глобальных систем (международное название: the Pilot Analysis of Global Ecosystems – PAGE)	Литоральная и сублиторальная области. На суше – зона, прилегающая к суше, в море – континентальный шельф до глубины 200 м; периодически затапливается морем, разграничение по физическим характеристикам [217]
Закон 1972 г. об управлении прибрежной зоной США	Прибрежные воды и прибрежная полоса, подверженные сильному воздействию друг на друга. На суше – обеспечение контроля над соответствующим районом суши; использование суши имеет прямое значительное воздействие на прибрежные воды, в море – по внешней границе морской юрисдикции [23, 169]
Модельный закон ЕС об устойчивом управлении в прибрежных зонах	Географический район из наземной и морской части. На суше – территория местных административных образований, примыкающих к морю, в море – территориальное море [23, 209]
Европейская комиссия	Полоса суши и моря различной ширины. Границы зависят от основных свойств окружающей среды и потребностей управления [61, 169]

Продолжение таблицы 1.1

Название программы	Состав, границы и определение прибрежной зоны
Агентство по охране окружающей среды США (международное название: the Environmental Protection Agency – EPA)	Прибрежные воды и прилегающая прибрежная полоса: открытая вода, географические единицы моря, водно-болотные экосистемы, берега и прибрежные возвышенности
Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП)	Полоса суши и моря. На суше – в пределах 100 км от береговой линии, в море – границы территориального влияния, включая водную флору и фауну [228]
Понятие ПЗ в биологии и экологии	Зона контакта суши с морем, включая природные комплексы, прибрежные и морские ландшафты и экосистемы. На суше – берега, в море – морская акватория, в границах, позволяющих обеспечить сбалансированное развитие, и сохранение ландшафтов и экосистем от загрязнения и уничтожения; ограниченная и регулируемая хозяйственная деятельность [1]
Понятие ПЗ в береговедении	Полоса суши и моря. Прибрежье – современная акватория с береговыми формами, сформированными при более низком уровне моря [73]
Понятие ПЗ в морской геологии	Полоса суши и моря. Верхняя часть шельфа, находящаяся под воздействием волнения [2, 4, 73]
Практика комплексного управления прибрежными зонами РГГМУ	Граница раздела системы «вода-суша», земельная, водная и донная составляющая. На суше – береговая зона, в море – прибрежная водная зона, дно шельфа. Наземная и водная среды находятся во взаимно значительном влиянии на состояние каждой из них [22, 28–29, 73]

В настоящей работе под *прибрежной зоной* (ПЗ) понимается область на стыке водной и наземно-воздушной среды, включающая в себя береговую (наземную) и прибрежную (водную) зоны, включая дно шельфа. Для удобства оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне (ОГСПЗ) Невской губы наземная часть ПЗ очерчивается по границам приморских локальных муниципалитетов (ПЛМ).

1.1.2. Морская хозяйственная деятельность

Морская хозяйственная деятельность зародилась в древние времена с появлением первых цивилизаций, начиная с добычи морепродуктов, судоходства и торговли [227]. В

настоящее время морская хозяйственная деятельность – деятельность, которая использует море и ПЗ для того, чтобы произвести или передать продукт. С одной стороны морская хозяйственная деятельность связана с ее организацией, управлением и экономической стоимостью природных морских ресурсов, с другой – природными особенностями, сохранением и поддержанием качества уникальной геосистемы [113].

К основным видам морской хозяйственной деятельности относятся [55, 70, 113, 184]:

- извлечение биологических ресурсов:
 - рыболовство, включая любительское рыболовство;
 - добыча морских водорослей и других морепродуктов;
 - аквакультура;
- добыча полезных ископаемых;
- опреснение вод для питьевых и промышленных нужд;
- добыча соли;
- гидротехнические работы:
 - дноуглубительные работы;
 - создание и/или восстановление прибрежной зоны;
 - размещение грунта, изъятых при проведении гидротехнических работ;
- грузовые и пассажирские перевозки;
- судостроение, кораблестроение и судоремонт;
- искусственные сооружения:
 - защита береговой части прибрежной зоны от наводнения или затопления;
 - портовая деятельность;
 - размещение и эксплуатация морских сооружений, за исключением объектов энергетического комплекса;
 - размещение по дну или заглубленных в донный грунт водного объекта кабелей и трубопроводов;
- морская добыча энергоносителей;
- производство электроэнергии возобновляемой энергетики, установками, расположенными в прибрежной зоне;
- военно-морская деятельность и защита морских границ;
- рекреационная деятельность:
 - морской и прибрежный туризм;
 - рекреационная деятельность;
 - яхтинг и круизный туризм;

- научное изучение и мониторинг морской среды;
- охрана окружающей среды.

По мере развития человеческого общества наблюдаются увеличение спектра морской хозяйственной деятельности и усиление понимания крупномасштабного давления на морскую и прибрежную геосистемы [184].

Особенности мировой практики морской хозяйственной деятельности

К особенностям морской хозяйственной деятельности ЕС можно отнести включение в список видов деятельности, которые расположены в ПЗ и формально не имеющие непосредственного контакта с морем, но при этом оказывающие значительный негативный эффект на геосистемы прибрежной зоны. К ним относятся [184]:

- промышленные выбросы и сбросы от предприятий;
- прибрежное сельское и лесное хозяйство;
- сброс бытовых сточных вод.

В ЕС с 2000-х гг. отмечаются следующие тенденции в морской хозяйственной деятельности [184]:

- снижение добычи углеводородов;
- увеличение доли производства электроэнергии из возобновляющихся источников;
- увеличение судоходства и грузооборота;
- рост морской рекреационной деятельности;
- увеличение производства всех видов гидротехнических работ;
- снижение объемов рыболовства;
- стабильный уровень производства аквакультуры.

В перспективах мирового развития морской хозяйственной деятельности отмечается увеличение степени глобализации в портовых перевозках, рост грузооборота и тоннажа судов, а также использование экологических решений для снижения воздействия на окружающую среду [165].

Морская хозяйственная деятельность в России

Под морской хозяйственной деятельностью следует понимать «деятельность, осуществляемую в интересах устойчивого экономического и социального развития, национальной безопасности Российской Федерации по изучению, освоению и использованию ресурсов и пространств Мирового океана» [70], а также сохранение морской окружающей среды. Морская хозяйственная деятельность включает в себя, в том числе, морской транспорт и его инфраструктуру, создание и использование искусственных островов, установок и сооружений и другие виды деятельности, проводимые в Мировом океане, его дне и недрах [106]. Особенностью является морская деятельность тесная связь с ПЗ [114], где

располагается инфраструктура по ее обеспечению [106]. Морская природоохранная деятельность направлена на защиту, сохранение, обеспечение экологической безопасности морской среды и биологического разнообразия [70], предотвращение и ликвидацию «последствий негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду» [106].

Савельева С. Б. [114] приводит особенности ПЗ и хозяйственной деятельности, выделив две группы: природные и организационно-экономические особенности.

Все экологические последствия морехозяйственной деятельности, согласно Матишову Г. Г. с соавторами [68], могут быть подразделены на три группы:

- краткосрочные воздействия на экосистемы (извлечение ресурсов);
- среднесрочные и долгосрочные (любые виды загрязнений, включая интродукцию);
- интегральный характер воздействия на экосистемы (пространственная конкуренция между хозяйствующими субъектами и окружающей средой).

Правовые инструменты предотвращения или минимизации негативного воздействия на окружающую среду при планируемой морехозяйственной деятельности включают в себя оценку воздействия на окружающую среду, экологическую экспертизу и стратегическую экологическую оценку [68].

1.1.3. Принципы комплексного управления прибрежными зонами

Принципы и мировой опыт КУПЗ

С 1970-х гг. в прибрежно-морских странах развивается концепция КУПЗ (международное название: integrated coastal zone management, ICZM) для решения экономических и управленческих вопросов в интересах населения ПЗ и сохранения качества окружающей среды [53, 68]. В конце 1980-х гг. ООН и Всемирная продовольственная организация поддержали необходимость разработки концепции управления приморскими территориями, которая включает в себя рассмотрение всех процессов и взаимодействий на приморских территориях [26]. Своего расцвета концепция КУПЗ достигает в конце 1980-х – первой половине 1990-х гг. [133].

Важнейшим этапом развития концепции КУПЗ стало принятие итогового документа Конференции ООН по охране окружающей среды в 1992 г. «Повестка дня на 21 век» [221], которая является инструментом устойчивого развития приморских территорий и прилегающих акваторий [26]. Это способствовало увеличению количества стран, использующих принцип КУПЗ, до 120 к 2004 г. [150]. В этот же период в КУПЗ начинает применяться экосистемный подход, основанный на наиболее полных знаниях об экосистемах с целью сохранения здоровья и функционирования морских экосистем [53].

Объектом КУПЗ является «coastal zone», что переводится на русский язык либо как «прибрежная зона», либо как «береговая зона» [22], и используется в России «на равных правах» в зависимости от сферы исследования или деятельности [117]. В геологии, геоморфологии и береговедении чаще используется термин «береговая зона», тогда как в морской биологии и менеджменте – «прибрежная зона» [22].

КУПЗ ориентировано на создание оптимальной хозяйственной структуры в ПЗ [14] и минимизацию негативных последствий влияния на качество окружающей среды ввиду развития и/или поддержания антропогенной деятельности, и включает в себя четыре компонента [53]:

- взаимосвязи и взаимодействия между абиотическими и биотическими компонентами ПЗ (водная толща, берег, дно);
- долговременная стратегия развития;
- социально-экономическая сфера;
- поиск компромиссного решения между окружающей средой и социально-экономическими потребностями населения.

При планировании развития прибрежной территории наиболее широко используются нечисленные методы управления, в основе которых лежит метод «опыт наилучшей практики» [133, 178] для достижения наиболее оптимального варианта для каждого конкретного случая в отдельности.

С начала XXI в. в мире активно используется подход «строительство с природой», где учитываются природные особенности района реализации проекта, которые будут создавать дополнительную силу при распределении потоков вещества и энергии. Методы КУПЗ стали широко применяться не только в ведущих индустриальных странах, но и в развивающихся, таких как Сан-Томе и Принсипи, Бангладеш, Маршалловы острова и другие [178].

КУПЗ в России

Активное развитие и применение методов КУПЗ применительно к российским объектам началось в 2000-х гг. На сегодняшний день в России концепция КУПЗ применяется для Балтийского [28–29], Баренцева [67], Черного [57, 62], Каспийского морей, а также для Тихоокеанского побережья [107].

Развитие подходов КУПЗ возможно только на правовой основе. В России все морские акватории являются федеральной собственностью, поэтому на региональном и локальном уровнях законодательные акты регулируют только относительно небольшое количество вопросов, которые носят уточняющий характер, отображающих локальные географические и экологические особенности.

Ввиду сложности сочетания экономического развития и сохранения качества окружающей среды отмечается необходимость выделения прибрежных районов в отдельный элемент планирования и управления [68, 87].

В законодательной и нормативной литературе РФ указана необходимость разработки, развития и применения методов КУПЗ и морского пространственного планирования в целях комплексного природопользования [68, 82, 106].

Согласно Стратегии развития морской деятельности РФ на период до 2030 года, одной из целей развития морской деятельности является «переход к комплексному планированию развития приморских территорий и прибрежных акваторий страны... Одной из задач выполнения данной цели является разработка и реализация программ комплексного развития приморских территорий и прибрежных акваторий» [126] как самостоятельных единиц комплексных программ развития и управления для приморских субъектов и муниципалитетов [61]. Реализация поставленной цели опирается на такие инструментари, как введение и развитие интегрального управления прибрежными зонами, направленного на преодоление конфликтов в системе «человек – окружающая среда» и сохранения качества морской среды [126], а также использование инструментов морского пространственного планирования для рационального морского природопользования [126, 135].

Согласно Морской доктрине РФ, необходим комплексный подход к изучению, освоению и использованию Мирового океана. Определен принцип экосистемности, под которым понимается «рассмотрение морской среды как единого целого, а происходящих в них процессов во взаимосвязи» [70]. Отмечается, что необходимо повышение степени защиты окружающей среды при реализации транспортных проектов, обеспечение максимальной безопасности и соблюдение требований в сфере рыболовства, а также разработка принципов снижения антропогенной нагрузки путем внедрения научно обоснованных методов для всех видов морехозяйственной деятельности [70, 80–81].

В Водном кодексе РФ отмечается, что в процессе использования водных объектов на них не должно оказываться негативное воздействие, отмечается приоритет охраны водных объектов перед их использованием. При их использовании должны быть предусмотрены мероприятия по охране водных объектов [17].

В законодательных актах отмечается необходимость обеспечения безопасности морской деятельности, которая включает в себя объекты морской инфраструктуры и прилегающих к ним акваторий, с использованием приемов оценки уязвимости окружающей среды [106], ее защиту и сохранение [70].

В Федеральном законе «Об охране окружающей среды» в статье 3 отмечается, что основными принципами в области охраны окружающей среды в случае планирования,

принятия решения и ведения хозяйственной и иной деятельности, оказывающей воздействие на окружающую среду, в том числе, являются [84]:

- обязательность оценки воздействия на окружающую среду;
- учет природных и социально-экономических особенностей территории;
- обеспечение снижения негативного воздействия на окружающую среду путем использования наилучших доступных технологий, принимая во внимание экономические и социальные факторы;
- запрещение деятельности, которая имеет непредсказуемые последствия для окружающей среды и проектов, которые могут привести к деградации, изменению и/или уничтожению естественных экологических систем и иным негативным последствиям.

Основными принципами сохранения морской среды по 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» [80] являются обеспечение сохранения биологического разнообразия, экологической безопасности, предотвращение загрязнения и ограничение либо запрещение хозяйственной деятельности, которая может негативно отразиться на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) и рыбохозяйственных зонах.

Любая морехозяйственная деятельность должна иметь положительный результат заключения государственной экологической экспертизы [80–81, 83, 106], что безусловно распространяется и на гидротехнические работы [80].

1.2. Системы индикаторов и индексов

На сегодняшний день индикаторный подход активно используется как в географической, так и в прикладной науке [26, 42, 72, 89, 103, 138].

Количество индексов и индикаторов, используемых для различных оценок качества окружающей среды, чрезвычайно велико, масштабы использования варьируются от глобального до локального уровня [25, 43]. Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) были разработаны принципы построения индикаторов, согласно которым индикатор должен быть связан с экологическими, экономическими и социальными аспектами [214]. При этом, несмотря на определенные успехи индикаторного подхода, на сегодняшний день не существует четкого определения понятия индикатора. Его определение зависит от направления науки или применения. Ввиду увеличения использования методов, основанных на индикаторном подходе, отдельно выделяется понятие индикатора в технике и технологии, экологии, экономике, социологии и других науках.

При проведении геоэкологических исследований преимущественно используются индикаторы, разработанные для национального уровня, позволяющие сравнивать результаты оценок, выполненных в различных странах, между собой. При продолжительном использовании индикаторов они могут быть использованы для определения тренда развития системы, тогда как единичное (разовое) использование отображает текущее состояние, а также может быть использовано как базовое или фоновое значение для изменяющихся со временем систем [210].

В настоящей работе под *индикатором* понимается доступная наблюдению и измерению характеристика изучаемого объекта, позволяющая судить о других его характеристиках, недоступных непосредственному исследованию [116], в форме, наиболее удобной для непосредственного восприятия человеком.

Под *индексом* понимается совокупность нескольких индикаторов, характеризующих комплексные системы по различным параметрам и представляющих общую характеристику какого-либо объекта или явления [25]. Объединение индикаторов в индексы производится посредством математических операций [241].

1.2.1. Подходы к выбору индикаторных и индексных систем

Для выбора критериев и подхода к разработке качественных и количественных наборов индикаторов и индексов необходимо использовать разные методы, которые будут наиболее полно характеризовать состояние системы. Выбор методов зависит от типа геосистемы, наличия данных о текущем состоянии и предшествующих трансформациях (связанных как с природными, так и антропогенными процессами), сложности и неоднозначности процессов [58].

В основе количественных индикаторов лежат статистические данные, значения которых определены для промежутка времени, по которым можно оценить динамику процессов и возможные последствия при сохранении направления, силы и скорости изменений или воздействий. Статистические индикаторы могут быть построены на основе следующих величин [142]:

- абсолютных – первичная информация, отражающая определенные свойства совокупности в определенном пространстве, времени и величинах;
- относительных – показывают числовую характеристику сопоставляемых величин, как одноименных, так и разноименных;
- средних – величина признака, отнесенная к единице совокупности.

В случае, когда невозможно однозначно оценить степень отклика системы на воздействие, используя статистические методы, метод экспертно-статистических оценок

является оптимальным. Впервые данный метод был предложен в 1974 г. С.А. Айвазяном [127] для оценки общего индекса эффективности при наличии набора разнородных свойств, как правило, не имеющих прямого численного выражения, и которые в совокупности определяют результат. На основе совокупности оценок каждого компонента строится комплексный индикатор множества объектов в виде линейной комбинации показателей объектов.

Данный метод оптимален при разработке качественных индикаторов, с помощью которых уровень воздействия либо отклика системы определяется экспертами на основе чувствительности, уязвимости, ценности той либо иной геосистемы или ее компонента к определенному набору воздействий для каждого конкретного случая. Классификация значения полученного индикатора в этом случае отражает возможную степень влияния стрессового воздействия на компоненты геосистемы, градации которой варьируется в категориях силы воздействия от отсутствия до максимально возможного негативного воздействия. Количество градаций обычно варьируется в диапазоне 3–5, редко превышая 7, ввиду сложности интерпретации большего количества классов.

Метод экспертно-статистических оценок применяется в геоэкологических исследованиях при оценке относительной уязвимости компонентов экосистем к основным видам антропогенного воздействия в ПЗ [102–103]. Ввиду того, что геоэкологическая система ПЗ включает в себя совокупность природных, антропогенных и техносферных элементов, применение точных аналитических моделей и классических статистических методов для оценки ее уязвимости является затруднительным [133]. Данный метод лежит, например, в основе построения карт экологической уязвимости [30].

Сочетание различных методик и подходов дает возможность осуществления комплексной геоэкологической оценки, что является особенно важным для уязвимых компонентов геосистем.

1.2.2. Принципы, структуры и критерии разработки индикаторов

Индикаторы устойчивого развития

В 1980 г. во Всемирной стратегии охраны природы появился термин «устойчивое развитие», согласно которому устойчивое развитие невозможно без учета экологических, социальных и экономических факторов. Большинство индикаторных систем устойчивого развития и экологической уязвимости используют в своей основе концепцию «трех основ» [153]. Суть концепции заключается в оценке взаимодействия и влияния между окружающей средой, экономикой и социальным развитием, что соотносится с комплексным подходом описания возможных взаимодействий и откликов системы при воздействиях природного и антропогенного характера. Критериями методологии разработки индикаторов

устойчивого развития являются: граница-ориентированность (обоснованные граничные значения индикаторов), комплексность, интегрированность, вовлеченность лиц, принимающих решения (ЛПР), масштабируемость, стратегичность и прозрачность [224].

Индикаторы уязвимости

Концепция экологической уязвимости основана на человеческой ценности суждения относительно риска различных компонентов природной и антропогенной окружающей среды от различных источников [206] и включает в себя две группы факторов [152, 199]:

- биофизические (риск опасных явлений, климата, геологии и географии и др.);
- социально-экономические (системы внутренней устойчивости к повреждениям и приобретенную способность к адаптации).

Выделяют два типа отношений в системе «индикатор уязвимости – цель» [159]:

- индикатор сосредоточен на направлении развития, т.е. увеличение или снижение тенденции развития отражает более высокую или низкую уязвимость;
- индикатор сфокусирован на конкретной задаче, которая показывает, достигает ли состояние или развитие определенного уровня, т.е. конкретное значение индикатора должно отражать является ли система уязвимой или нет.

Эффективность индикаторов уязвимости определяется через их способность идентифицировать и визуализировать различные характеристики уязвимости объекта воздействия, например, сообщество или экосистему [159].

Индикаторы уязвимости направлены на упрощение ряда сложных и взаимосвязанных параметров, представленных различными типами данных, в форму, более доступную для понимания и имеющую большую практическую ценность как инструмента управления [206, 229].

Принципы идеального алгоритма разработки системы индикаторов

Биркманн Дж. [159] обобщил стадии разработки индикаторов, применимых для оценки устойчивости и уязвимости среды:

- определение целевой группы и целей, для которых разрабатываются индикаторы;
- определение пространственных единиц и временных границ, которыми будут оперировать индикаторы [204];
- выбор концептуальной основы, структурирование возможных тем и индикаторов;
- определение критериев отбора возможных индикаторов;
- определение набора потенциальных индикаторов;
- оценка и отбор индикаторов с учетом критериев отбора, формирование набора индикаторов;

- сбор данных для индикатора, которым необходимо следовать для того, чтобы доказать применимость подхода;
- подготовка отчета и оценка результативности разработанного набора индикаторов.

Принципы Белладжио для индикаторов

Основные принципы и критерии для разработки и системы индикаторов на основе «принципов Белладжио» включают в себя следующие аспекты [241]:

- индикатор должен охватывать различные аспекты устойчивости/уязвимости системы и комплексные взаимодействия между оцениваемыми аспектами;
- отдельные индикаторы должны отражать состояние и изменения целевых аспектов устойчивости;
- индикаторы должны быть информативными, легко составляться из существующих доступных и долгосрочных источников данных, понятных для населения, стратегически значимых, прогнозируемых или ведущих/управляющих, и многоуровневыми с точки зрения детализации и масштаба;
- методы проведения взвешивания и объединения/агрегации индикаторов для создания индексов должны быть прозрачными и объективными.

Принцип «Давление – Состояние – Ответ»

Принцип «Давление – Состояние – Ответ» используется для разработки индикаторов устойчивого развития ОЭСР [240], а в 1996 г. Комиссией ООН по устойчивому развитию стал использоваться как руководство для выбора индикаторов. Данный принцип эффективен для разработки экологических индикаторов [189] и основан на четырех столпах [241]:

- окружающая среда;
- экономика;
- общество; и
- организации/государственность.

Каждая группа индикаторов отражает взаимодействия между четырьмя выбранными опорами устойчивого развития:

- индикаторы давления главным образом представляют антропогенные процессы, которые имеют положительные или отрицательные воздействия на устойчивое развитие;
- индикаторы состояния фокусируются на текущем состоянии окружающей среды и природных ресурсов относительно качества и количества в заданный момент времени или в течение периода времени;

- индикаторы ответа относятся к социальным реакциям на изменение состояния окружающей среды и природных ресурсов и основных определяющих факторов.

Принцип «Движущая сила – Давление – Состояние – Воздействие – Отклик»

Программой ООН по охране окружающей среды в 2006 г. для развития экологических индикаторов для Северной Америки был разработан принцип «Движущая сила – Давление – Состояние – Воздействие – Отклик» (международное название: the Driver–Pressure–State–Impact–Response – DPSIR) [181]. Данная система индикаторов описывает динамические связи между социально-экономическими и экологическими факторами в окружающей среде. Например, при использовании данной структуры для описания уязвимости ПЗ использовались следующие группы индикаторов [228]:

- движущие силы, влияющие на благополучие человека и прибрежных экосистем, включают социально-экономические и природные факторы;
- индикаторы давления отражают концентрацию населения в ПЗ, прибрежный туризм, рост прибрежных городов и урбанизацию;
- индикаторы состояния относятся к наблюдаемым изменениям, включая текущее состояние распределения населения, его плотность в прибрежных городах, изменение глобальной температуры и уровня моря, и изменения в пределах горячих точек биоразнообразия;
- индикаторы воздействия отражают последствия изменений в окружающей среде;
- отклик на проблемы включает в себя меры и стратегии для смягчения воздействия и проведение необходимых исследований для улучшения информированности по ключевым вопросам.

Проблемно-ориентированная структура

Проблемно-ориентированная структура или тематическая структура – это гибкая концептуальная структура, где все индикаторы собраны вокруг ключевой темы [196]. Так, проблемно-ориентированная структура Комиссии ООН по устойчивому развитию имеет иерархическую структуру, которая включает в себя четыре основных направления устойчивого развития (окружающая среда, общество, экономика, организации/государственность), выделены 15 основных тем, 38 подтем и 58 индикаторов. В 2007 году количество индикаторов Комиссии ООН составило 96, из которых 50 являются основными [241].

Структура, основанная на капитале

Структура, основанная на капитале, делает попытку вычислить богатство страны или региона, которое рассматривается как функция различных видов капитала [196]. В данной структуре рассматриваются следующие типы капиталов [241]:

- произведенный капитал или сделанный капитал (все произведенные активы, которые формируют человеческую экономику в традиционном понятии);
- природный капитал (природная окружающая среда и ресурсы);
- человеческий капитал (способность людей работать, включая знания, умения и здоровье);
- социальный капитал (капитал/запасы социальных связей, ответственность/доверие и институциональные механизмы).

Примером структуры, основанной на капитале, является «треугольник Дейли», который связывает природные богатства с конечной целью человека через технологии, экономику, политику и этику. Индикаторами, относящимися к природному капиталу, являются содержание органического вещества в почве, улов рыбы в год и другие [195].

Интегральная система показателей

Интегральная система показателей относится к синтезированной экономической и экологической системам учета, основанной на национальных счетных методологиях, например, Система интегрального экологического и экономического счетов (международное название: the System of Environmental-Economic Accounting – SEEA), разработанная в 2003 г. Данная структура основана на тематическом и капитальном подходах и включает в себя четыре категории счетов [241]:

- физические данные по потокам вещества и энергии;
- данные по рациональному природопользованию и операциям, относящимся к окружающей среде;
- счета природных богатств;
- счета сделок и согласований, имеющие отношение к воздействию экономики на окружающую среду.

Однако данная система не учитывает социальные и институциональные измерения устойчивого развития.

Структура ориентирования Босселя

Данный метод направлен на обеспечение целостной и всеобъемлющей концептуальной структуры для руководства по развитию индикаторов и имеет иерархический вид. Теория ориентиров предполагает, что любая экологическая или социально-экономическая система может быть охарактеризована по шести фундаментальным экологическим свойствам: нормальное состояние окружающей среды, нехватка ресурсов, разнообразие, изменчивость/непостоянство, изменение и другие системы [241]. В контексте устойчивого развития структура Г. Босселя [160] предлагает использовать семь основных ориентиров: существование, эффективность, свобода действий, безопасность, приспособляемость,

сосуществование и психологические потребности. Индикаторы, разработанные на основе структуры ориентирования Босселя для того, чтобы показать различные аспекты устойчивости системы «человек – окружающая среда», представляют графически в виде полигональных «звезд ориентиров».

Теория принятия решений

Для оценки уязвимости и устойчивости, на основе теории принятия решений, используются два основных подхода [224]:

- пороговый метод, который определяет целевой уровень;
- метод сценарного планирования.

Пороговый метод предпочтителен в том случае, когда существуют границы, при пересечении которых могут наблюдаться значительные последствия. При использовании данного метода необходимо принимать во внимание, что снижение ниже порогового (опасного уровня) и значения/явления, которые происходят ниже безопасного уровня, тоже могут иметь ценность [173]. Кроме того, большинство из пороговых значений скрывают значительные уровни неопределенности, которые с трудом поддаются оценке, а также любое пороговое значение должно рассматриваться вместе с доверительным уровнем, который был учтен в его определении.

Сценарное планирование основано на определении различных возможных сценариев из «облака событий», оценка которых происходит с использованием различных критериев. В данном случае единичный индикатор оценивается как взвешенная комбинация критериев, например – в многофакторной оценке [224].

1.3. Индикаторные и индексные системы оценки уязвимости в практике комплексного управления прибрежной зоной

1.3.1. Индикаторные и индексные системы оценки экологической уязвимости

Уязвимость – это состояние восприимчивости к негативному воздействию при воздействии стрессовых факторов и способность системы к приспособлению к тем или иным экологическим факторам, включая антропогенные [149, 152, 187]. Экологическая уязвимость прямо пропорциональна чувствительности организмов, населяющих экосистему, и обратно пропорциональна способности организмов к адаптации или восстановлению, и оценивается на популяционном или биоценотическом уровнях [69].

Концепция оценки экологической уязвимости направлена на систему «человек – окружающая среда», уязвимость и устойчивость которой определяется тесным взаимодействием между социальной и природной составляющей [149, 203]. В данной системе

способность к восстановлению определяется таким уровнем нарушения, который может быть нейтрализован до начала изменений, приводящим к радикальным отличиям от первоначальной системы, а также возможностью системы к самоорганизации и адаптации к возникшему воздействию [152, 186]. Оценка экологической уязвимости ПЗ только на основе природных факторов может не в полной мере отражать действительную степень ее уязвимости [211], что требует обязательного включения в рассматриваемый список антропогенных факторов. На рисунке 1.1 приведены компоненты, составляющие экологическую уязвимость на глобальном, региональном и локальном уровнях, по Б. Л. Тюрнеру с соавторами [149].

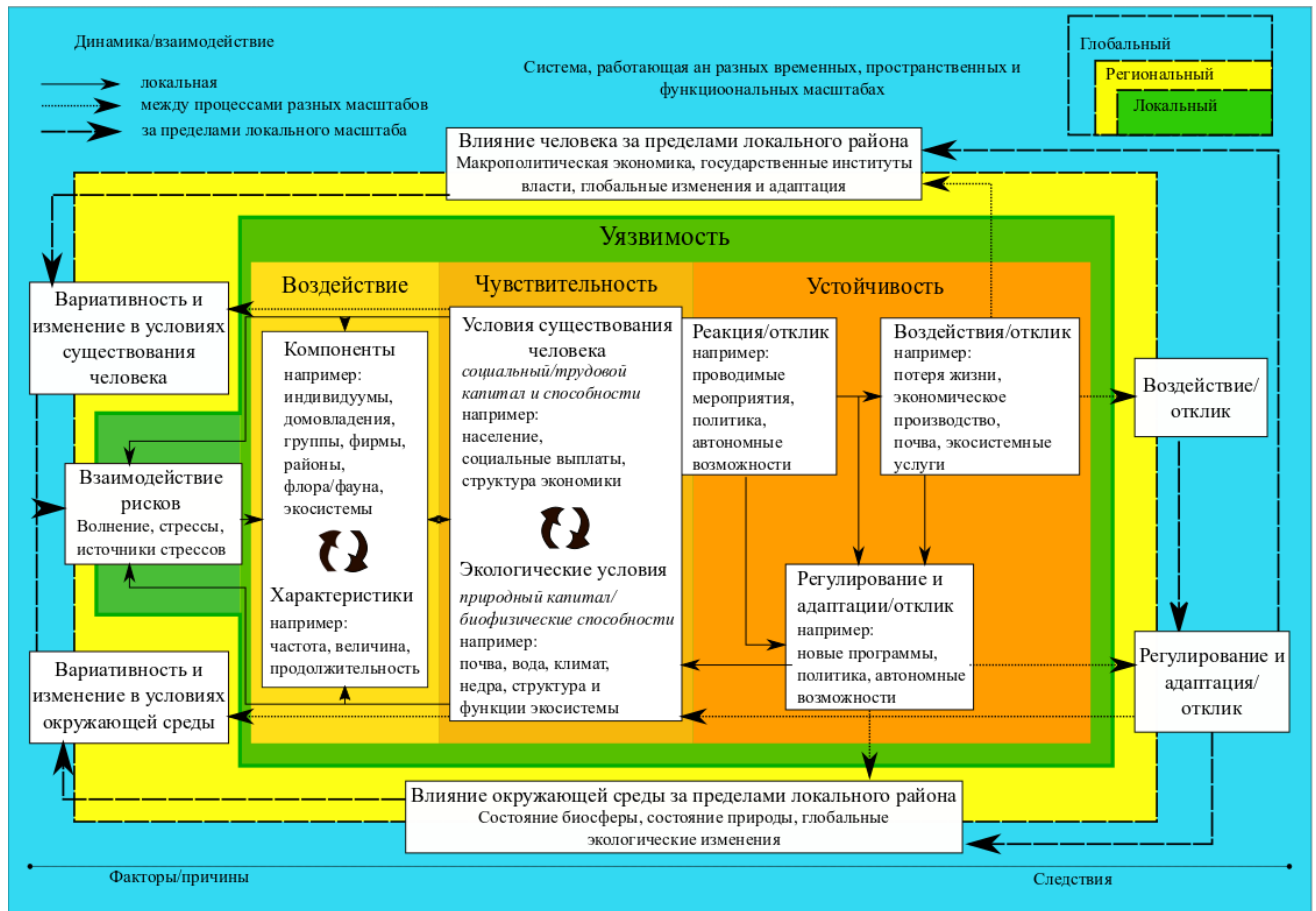


Рисунок 1.1 – Компоненты экологической уязвимости для локального, регионального и глобального пространственного уровня [149]

Уязвимость является динамичным свойством, ввиду постоянного изменения биофизических и социальных процессов, которые формируют локальные условия и способность популяций (животных, растений и микроорганизмов) к ним адаптироваться [152].

Так, например, считается, что охрана ПЗ необходима, когда она является уязвимой с точки зрения экологических (природных), экономических и социально-культурных аспектов [233].

Экологическая уязвимость той или иной экосистемы может быть определена с большей или меньшей точностью для любого вида антропогенного воздействия на биологические

сообщества, включая дноуглубительные, берегонамывные работы и гидротехнические работы в целом [69; 233].

Многими авторами отмечено [187, 206, 210, 231, 233, 242], что оценка состояния крупной экосистемы на глобальном уровне не дает представления об особенностях качества среды и влияния на него различных факторов на региональном и локальном уровнях. Между тем, именно на локальном уровне, как правило, возможно выделение так называемых «горячих» точек неблагоприятного или неудовлетворительного качества окружающей среды, где она подвергается локальному или региональному давлению или нерациональному использованию в погоне за быстрым достижением экономического результата, что в перспективе принесет еще большие расходы на ее восстановление. Рассмотренные ниже подходы к оценке экологической уязвимости, разработанные для разных пространственных уровней, отображает многогранность возможностей оценки состояния исходя из конкретных целей программ и поставленных задач проектов.

В настоящем разделе рассмотрены индикаторные и индексные системы оценки экологической уязвимости, применяемые для разных пространственных уровней: от глобального до локального. Некоторые индикаторные и индексные системы могут применяться для разного уровня организации пространственных систем, то есть, не ограничиваться только глобальным или локальным уровнем, например. Основополагающий метод расчета системы, использование весовых коэффициентов и необходимость нормализации полученных результатов для каждого из рассмотренных методов приводится в таблице 1.2.

1.3.2. Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния глобального уровня, применимые к прибрежной зоне

Индикаторы разъединения экологической нагрузки от экономического роста

В 2002 г. ОЭСР предложила методологию и разработала 31 индикатор [172] для измерения различий между экологической нагрузкой и экономическим ростом, названной индикаторами разъединения экологической нагрузки и экономического роста (международное название: *decoupling of environmental pressure from economic growth*). Система индикаторов применяется для глобального уровня. Разработанные индикаторы представляют собой отношение экологической нагрузки к экономическому показателю и связывают глобальные экологические проблемы с экономическими секторами [197, 210]. Они показывают зависимость между динамикой экологической нагрузки и экономическим развитием, описывая относительную экологическую устойчивость, то есть уровень изменения движущей силы по сравнению с изменением уровня соответствующего давления на окружающую среду.

Таблица 1.2 – Использование индикаторного метода для оценки уязвимости ПЗ

Используемый индикаторный метод, кем разработан, когда	Формула стандартизации/нормализации индикатора	Использование	Использование весовых коэффициентов	Комплексный индекс
Индикаторы разьединения экологической нагрузки от экономического роста, ОЭСР, 2002 г	Не приведен	Indicators..., 2002 [197]; Moldan et al. 2012 [210]; Conrad and Cassar, 2014 [172]	Без весовых коэффициентов	$DR = \frac{(EP/DrF)_{\text{конец периода}}}{(EP/DrF)_{\text{начало периода}}},$ $DcF = 1 - DR$
Система индикаторов предполагаемой устойчивости, ЕС, 2008	$I_{norm} = \frac{x_i - min}{max - min} * 10$	An aggregation..., 2011 [153]; Sustainable..., 2012 [232]	$w_1 = \frac{1}{n_{фзем}};$ $w_2 \in [-1; +1];$ $w_3 \in [0; +1]$	Общеввропейский $LUF_E = \sum_{i=1}^{n_{зем}} I_{iзем} * \frac{(w_{1i} * w_{2i}) * w_{LUF}}{\sum_{i=1}^n (w_{1i} * w_{2i})}$ региональный $LUF_R = \sum_{i=1}^{n_{зем}} I_{iзем} * \frac{(w_{1i} * w_{2i} * w_{3i}) * w_{LUF}}{\sum_{i=1}^n (w_{1i} * w_{2i} * w_{3i})}$
Индикаторный метод для защиты берегов, Ликуете и др., 2012	Не приведен	Assessment..., 2013 [157]; Guisado-Pintado et al., 2016 [190]	Весовые коэффициенты определены на основании экспертных оценок и	$CP_{cap} = 0.33geo + 0.25slo + 0.21sea + 0.21lan$ $CP_{exp} = 0.29wav + 0.29sur + 0.23lev - 0.19tid$ $CP_{dem} = 0.35prop + 0.30inf + 0.20art + 0.15cul$
Индекс уязвимости прибрежной зоны ЮНЕП, ЮНЕП, 2005	$I_i = \frac{x_i - min}{max - min}$	Singh et al., 2005 [228]	Без весовых коэффициентов	$CV = (PD) + (ND) + (1 - FC) + (GE) - (HD)$ $CVI = \frac{x-min}{max-min}$

Продолжение таблицы 1.2

Используемый индикаторный метод, кем разработан, когда	Формула стандартизации/ нормализации индикатора	Используй- ние	Использование весовых коэффициентов	Комплексный индекс
Многомерный индекс уязвимости прибрежной зоны, МакЛолин и Купер, 2010	$I_i = \frac{x_i - \min}{\max - \min}$	McLaughlin and Cooper, 2010 [206]; Methods..., 2011 [208]; Strengthening ..., 2015 [231]	Без весовых коэффициентов	$CC_{si} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n CC_i - n_{CC}}{n_{CC} * 4} \right) * 100$ $CF_{si} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n CF_i - n_{CF}}{n_{CF} * 4} \right) * 100$ $SE_{si} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n SE_i - n_{SE}}{n_{SE} * 4} \right) * 100$ $CVI = \frac{CC_{si} + CF_{si} + SE_{si}}{3}$
Индикаторы уязвимости прибрежных городов, Ю, Ким и Хади, 2014	$I_i = \frac{x_i - \min}{\max - \min}$	Yoo et al., 2014 [242]	Без весовых коэффициентов	$CVI = EI + SI - ACI$
Система индикаторов для рыболовства, рабочая группа «Индикаторы для моря» под эгидой Европейской сети передового опыта по анализу океанских экосистем, 2005	$I_i = \frac{I_y - \bar{I}}{\sigma_I}$	Ranking..., 2010 [220]; Trend..., 2010 [237]; Using..., 2010 [239]	Без весовых коэффициентов	$TR_i = \sum RS_i + \sum RT_i$ $IF_i = \frac{TR_i - \min}{\max - \min}$
Индекс уязвимости прибрежной зоны, Горниц и др, 1990	Не производится	Gornitz et al., 1991 [188]; Natural..., 2014 [211]; Systematic et al., 2019 [233]	Без весовых коэффициентов	$CVI = \sqrt{\frac{I_1 * I_2 * \dots * I_i}{i}}$

Продолжение таблицы 1.2

Используемый индикаторный метод, кем разработан, когда	Формула стандартизации/нормализации индикатора	Использование	Использование весовых коэффициентов	Комплексный индекс
Совокупный индекс уязвимости прибрежной зоны, Кришнан, 2018	$Z_i = \frac{x_i - \min}{\max - \min}$ $Z_i = \frac{\max - x_i}{\max - \min}$	Framework..., 2019 [187]; Systematic..., 2019 [233]	$A_i = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij},$ $i = 1, 2, 3 \dots, m$	$EI_T = \sum_{i=1}^I (WP_i * EI_i)$ $SI_T = \sum_{i=1}^I (WP_i * SI_i)$ $ACI_T = \sum_{i=1}^I (WP_i * ACI_i)$ $CCVI = \frac{EI * SI}{ACI}$
Социально-экономический индекс уязвимости прибрежной зоны, Александрикис и др., 2014	Не производится	Natural..., 2014 [211]	Без весовых коэффициентов	$CC = \sqrt{\frac{GEO * CS * ERO}{3}}$ $CF = \sqrt{\frac{RLSR * T * Hs}{3}}$ $SE = \sqrt{\frac{SET * CH * TN * LU * E}{5}}$ $SocCVI = \frac{CC + CF + SE}{3}$ $SocCVI_{norm} = \frac{SocCVI - \min}{\max - \min}$

Примечание – DR – разединяющее соотношение; EP – экологическая нагрузка, DrF – движущая сила; DcF – разединяющий фактор; x_i – значение параметра i , $\min$ и $\max$ являются концами диапазона нормализации, минимальной и максимальной значениями параметра; $n_{фзем}$ – число индикаторов, попавших в функцию землепользования; LUF_E является значением функции

землепользования на европейском уровне по отношению к конкретным вариантам состояния или развития, $I_{i\text{зем}}$ – i -й индикатор, совпадающий с необходимой функцией землепользования, $n_{\text{зем}}$ – общее число индикаторов, попадающих в функцию землепользования, w_{LUF} – общий вес функции землепользования (априори равный 1); $w_{1,2,3}$ – весовые коэффициенты; LUF_R является значением функции землепользования на региональном уровне по отношению к конкретным вариантам состояния или развития; CP_{car} – индикатор емкости; CP_{exp} – индикатор естественного воздействия окружающей среды; CP_{det} – индикатор потребностей населения; geo – геоморфология; slo – склон; sea – морские донные места обитания; lan – растительный покров; wav – волновой режим; sur – штормовой нагон воды; lev – относительный уровень моря; tid – приливно-отливная амплитуда; por – плотность населения; inf – инфраструктура; art – искусственные поверхности; cul – памятники культуры CV – индекс уязвимости прибрежной зоны; I_i – значение нормализованного индикатора; PD – плотность населения; ND – высокая вероятность случая стихийного бедствия; $(1 - FC)$ – низкая лесистость; GE – географическое расположение; HD – развитие человека; CC_{si} – субиндекс характеристики прибрежной зоны; CC_i – индикаторы характеристики прибрежной зоны; n_{cc} – количество индикаторов характеристики прибрежной зоны; CF_{si} – субиндекс изменения прибрежной зоны; CF_i – индикаторы изменения прибрежной зоны; SE_i – социально-экологические индикаторы; n_{se} – количество социально-экологических индикаторов; EI – индикатор воздействия на окружающую среду; SI – индикатор чувствительности; ACI – индикатор адаптационной способности; I_y – значение индикатора I в году y , $\bar{I}$ – среднее значение индикатора I временной серии включенной в анализ, σ_I – среднеквадратическое отклонение индикатора I временной серии включенной в анализ, который позволяет сравнивать тенденции. TR_i – общий ранг -й экосистемы; RS_i – ранг основанный на индикаторах состояния i -й экосистемы; RT_i – ранг основанный на индикаторах направления i -й экосистемы. IF_i – индекс схожести экосистем; CVI – индекс уязвимости прибрежной зоны; I_n – значение -го индикатора; i – количество индикаторов, использованных для оценки уязвимости; Z_i – нормализованное значение -й деревни для соответствующего индикатора X , X_i – значение индикатора в своих начальных единицах измерения для i -й деревни. w_j – обозначает относительные вес важности индикатора I_j , a_{ij} – рабочее значение альтернативы A_i , A_i – оценивается относительно индикатора I_j ; i – обозначает отдельную деревню в соответствующем районе, I – общее количество деревьев в районе, WP_i – пропорция населения -й деревни к общему населению в районе, EI_T – индекс воздействия на уровне района, SI_T – индекс чувствительности на уровне района, ACI_T – индекс адаптационной способности на уровне района; $CCVI$ – совокупный индекс уязвимости прибрежной зоны; CC – промежуточный индекс прибрежных характеристик; GEO – геоморфология; ERO – эрозия побережья; CS – береговой уклон; CF – промежуточный индекс прибрежного воздействия; $RLSR$ – относительное увеличение уровня моря; T – среднее значение приливного диапазона; Hs – средняя высота волн. SE – социально-экономический промежуточный индекс; SET – поселения; CH – культурное наследие; TN – транспортная сеть; LU – землепользование; E – экономическая деятельность; SocCVI – социально-экономический индекс уязвимости прибрежной зоны; SocCVI_{norm} – нормализованный социально-экономический индекс уязвимости прибрежной зоны

Абсолютное разъединение перекрестных связей отмечается при одновременном уменьшении или стабильном значении показателя экологической нагрузки и увеличении значения экономического показателя, тогда как относительное разъединение отмечается в том случае, когда скорость увеличения экологической нагрузки выше экономического прироста за определенный период [197].

Теоретическое максимальное значение разъединяющего индикатора равно «1», когда давление на окружающую среду равно «0», тогда как отрицательные значения будут приниматься при все возрастающем давлении на нее.

Индекс экологической эффективности

Индекс экологической эффективности (международное название: Environmental Performance Index) разрабатывается университетами Яле и Колумбия в сотрудничестве с Мировым Экономическим Форумом и объединенным исследовательским центром Европейской Комиссии с 1999 г. Индекс фокусируется на двух глобальных экологических направлениях: снижении стрессового воздействия окружающей среды на здоровье человека и увеличении жизнеспособности экосистем в условиях рационального природопользования [210] и используется для сравнения стран на глобальном уровне.

Индекс содержит 25 индикаторов, каждое значение которых изменяется от 0 до 100 [148]. Индикаторы относятся к шести категориям, которые привязаны к целевым показателям долгосрочного здоровья населения и устойчивости экосистем. Индикаторы рассчитываются как расхождение между текущими и целевыми показателями для каждой страны, значения уровней которых определяются стандартами и критериями уровня от международных соглашений до национальных стандартов [210].

Экологический след

Понятие «экологический след» (международное название: Ecological Footprint) впервые было упомянуто в 1992 г. [171]. Методология расчета индикатора «экологический след» была разработана в 1995 г. Она основана на понятии пропускной способности экосистемы и концепции существования пределов использования природных ресурсов, и оценивает устойчивость экосистем. Индикатор рассчитывается как величина биологически продуктивной земли или акватории, которая требуется для поддержания исследуемой («заданной») популяции населения при ее текущем уровне потребления ресурсов [210] и способностью окружающей среды поглощать углекислый газ, выбрасываемый в атмосферу в результате антропогенной деятельности [171]. Индикатор используется для сравнения стран на глобальном уровне.

Индикаторная система оценки уязвимости прибрежной зоны ЮНЕП

Индикаторная система оценки уязвимости ПЗ, разработанная ЮНЕП, построена на предположении, что человек и окружающая среда являются взаимосвязанными. Концепция

уязвимости прибрежной зоны была разработана подгруппой по управлению ПЗ Межправительственного совета по борьбе с изменением климата в 1991 г. для оценки степени способности государств справляться с результатами повышения уровня моря, и включает в себя три аспекта [228]:

- чувствительность ПЗ к физическому изменению уровня моря;
- воздействие физического изменения уровня моря на природные и антропогенные системы;
- предотвращение или смягчение мер воздействия.

Индекс уязвимости ПЗ включает в себя четыре индикатора:

- плотность населения в ПЗ;
- вероятность стихийных бедствий (шторма и сильные морские волнения);
- процент растительного покрова;
- отношение пологого ландшафта и отношение протяженности береговой линии к границе государства.

Все индикаторы нормализованы, безразмерны и изменяются в пределах от «0» до «1». Индекс уязвимости ПЗ после расчета также нормализуется и приводится к стандартизованному состоянию, принимая значения в диапазоне от «0» до «1».

Отмечается, что для больших стран индекс должен применяться с осторожностью ввиду значительных различий внутри стран [228]. Индекс используется для сравнений на глобальном уровне.

1.3.3. Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния регионального уровня, применимые к прибрежной зоне

Индикаторы биологического разнообразия Приполярья

В 2010 г. рабочей группой Арктического совета по программе мониторинга биоразнообразия Приполярья была разработана система индикаторов на основе комплексного экосистемного подхода для оценки биоразнообразия Арктики. Полученные результаты являются основой для повышения координации сетей мониторинга ввиду увеличения антропогенного давления и необходимостью сохранения биологического разнообразия Арктической зоны [119]. Разработанная система используется на региональном уровне.

В рамках программы разработана система из 22 индексов и индикаторов, которые включают в себя 9 индикаторов по оценке состояния видов, 8 – по состоянию экосистем, и 5 – описывают природные ресурсы [155]. Выбранные индикаторы и индексы отражают компоненты биоразнообразия и услуги, имеющие критическую роль в формировании и устойчивости арктических экосистем, жизнеобеспечения и хозяйствования населения

Севера [20]. Критерии выбора индикаторов и индексов основаны на следующих принципах: актуальность, практичность, научная обоснованность, возможность получения пороговых значений, чувствительность к экологическим факторам воздействия, включая антропогенные [20, 119]. Для отобранных индикаторов и индексов используется иерархическая структура, начиная от детализированных индикаторов субпопуляционного или регионального уровней до высокого уровня глобальных показателей.

Программа оценки взаимодействия «суша – океан» в прибрежной зоне Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) разработана программа оценки взаимодействия системы «суша – океан» в ПЗ (международное название: the Land Ocean Interactions in the Coastal Zone – LOICZ), которая была реализована в российской Арктике для системы «речные бассейны – прибрежная зона» [222]. Разработанная система используется на региональном уровне.

Программа разработана на основе бассейнового подхода, для комплексной оценки ключевых природных геосистем и прибрежных государств, которые находятся под воздействием природных и антропогенных процессов, и пытается объяснить причины происходящих изменений в окружающей среде [222]. При разработке Программы был впервые в России использован подход «Фактор – Давление – Состояние – Воздействие – Отклик» [168, 225, 238], что позволило применить комплексный подход к системе «речные бассейны – прибрежные зоны».

Основные используемые индикаторы связаны с изменением биогеохимических циклов переносом веществ естественного и антропогенного происхождения. Изменения такого рода отражают воздействие экономической деятельности на экосистемы ПЗ и социальные процессы. Результатом анализа является получение отклика геосистемы и общества на природные и антропогенные изменения в ПЗ [201, 222].

Индикаторы предполагаемой оценки экологической устойчивости

Система индикаторов предполагаемой устойчивости для оценки сценариев развития комплексного землепользования по экологическим, экономическим и социальным аспектам разработана для Европы и применяется на общеевропейском и региональном уровнях, с учетом их различия между собой [153, 232].

Методология построена на линейных аддитивных моделях с использованием весовых коэффициентов, представляет собой совокупность выбранных индикаторов для конкретного региона с учетом существующих вопросов в регионе, а полученные значения представляет собой «оценку пространства компромиссных решений». Достоинством метода является его применимость к различным пространственным масштабам.

Использование индикаторов для локального уровня имеет определенные значения пределов устойчивости, на региональном уровне пределы определяются исходя из возможного облака решений. Система индикаторов приводится к одинаковому масштабу для обеспечения обработки комплексного показателя, для чего все индикаторы нормализованы (таблица 1.2), имеют безразмерное значение и используют непрерывную числовую шкалу для возможности линейно-аддитивной агрегации. Для расчета индикаторов применяется система весовых коэффициентов, включающих в себя число индикаторов, попавших в функцию, силу и степень влияния и региональную значимость индикатора. Система весов повторно нормализуется на каждом этапе, что обеспечивает отсутствие прямой зависимости индекса землепользования от количества индикаторов. Количество индикаторов, входящих в индекс, может различаться. Кроме того, весовые коэффициенты усиливают действия доминирующих индикаторов.

Пределы устойчивости определяют подмножество оценки компромиссных решений пространства, поэтому расстояние до каждой системы землепользования от пределов устойчивости может быть оценено, и варианты соотношения между различными аспектами устойчивости могут быть определены [153].

1.3.4. Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния на глобальном и региональном уровнях, применимые к прибрежной зоне

Индекс уязвимости прибрежной зоны

В 1990 году Горниц В. с соавторами [188] предложили индекс уязвимости ПЗ к повышению уровня мирового океана [233]. Индекс разработан для оценки разницы уязвимости береговой линии к затоплению и эрозии на региональном и глобальном уровнях. Кроме того, индекс используется для классификации и картографирования пространственного распределения береговых зон, подверженных наибольшему риску и нуждающихся в более детальном изучении для оценки возможных негативных последствий при изменении уровня Мирового океана. Оценка реальных значений последствий изменения ПЗ учитывает климатические и социально-экономические параметры [188, 211].

Для расчета индекса используется 7 индикаторов [188, 211], относящихся к характеристикам ПЗ, каждому из которых присваивается значение в диапазоне от «1» до «5», где «5» соответствует наиболее высокому уровню уязвимости. Для того чтобы отдельное значение ранжированного индикатора не могло повлиять на значение индикатора уязвимости, при расчете используется квадратный корень из геометрического произведения присвоенных рангов значений индикаторов. Значение индекса уязвимости прибрежной зоны составляет 4 класса, каждому из которых присваивается значение степени уязвимости. При значении индикатора ≥ 33 риск для ПЗ характеризуется как «очень высокий» [188].

1.3.5. Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния на локальном уровне, применимые к прибрежной зоне

Индикаторы уязвимости прибрежных городов

Оценка уязвимости прибрежных городов включает в себя ключевые индикаторы уязвимости в зависимости от локальных условий, являясь полезным инструментом для сравнения текущей ситуации и возможности моделирования будущих состояний. Концептуальная структура экологической уязвимости соединяет в себе воздействие на окружающую среду и чувствительность с адаптационной способностью, которая включает в себя биофизические и социально-экономические аспекты [242].

Индикаторы, используемые в количественной форме для оценки уязвимости, стандартизируются, принимая значения в диапазоне от «0» до «1», и являются безразмерными.

Индекс экологической уязвимости включает в себя индикаторы воздействия на окружающую среду, чувствительности и адаптационной способности, без использования весовых коэффициентов. При этом принимается, что вклад каждого индикатора имеет равноценное значение. Кроме того, принимается, что адаптационная способность снижает значение общей экологической уязвимости [242].

Индикаторный метод для защиты берегов

Индикаторный метод для защиты берегов разработан для оценки защиты берегов, на основе концепции, что берег оказывает экосистемные услуги (создание, сохранение и поддержание функционирования экосистемы), в различных пространственно-временных масштабах. Индикаторный метод используется для изучения уязвимости берегов на локальном уровне или оценки состояния прибрежной среды обитания [157].

Концепция индикаторной системы построена на каскадной модели экосистемных услуг [191], в которой экологические функции, способные предоставлять указанные услуги, определяются биофизической структурой экосистемы и экосистемными процессами. Индикаторная система разработана для оценки природного потенциала сохранения берегов, естественного воздействия на окружающую среду и потребности сохранения прибрежных систем и применяется в Европе [157, 190]. Данный индикаторный подход применен для территории, ограниченной 50 м [157] или 100 м [190] изобатой глубины и 50 м [157] и 100 м [190] высотной линией над уровнем моря с минимальной протяженностью в 1 морскую милю в море и на сушу, но не более 50 км от уреза воды на суше.

Оценка защиты берегов проводится по 14 биофизическим и социально-экономическим параметрам наземных и морских экосистем, которые были выбраны на основе метода экспертной оценки как наиболее важные. На их основе разработано три индикатора [157]:

- емкость, или природный потенциал, основанный на геологических и экологических характеристиках геосистемы;
- естественное воздействие окружающей среды, обусловленное климатическими и океанологическими условиями;
- потребности населения в зависимости от социально-экономического состояния геосистемы.

В расчете индикаторов используется метод весовых коэффициентов, принимающих положительные и отрицательные значения. Все переменные нормализованы и безразмерны, что позволяет сравнивать процессы и явления в ПЗ разного масштаба.

1.3.6. Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния на региональном и локальном уровнях, применимые к прибрежной зоне

Система индикаторов для рыболовства

В 2005 г. была разработана система индикаторов на основе экологического подхода для ранжирования экосистем по оценке воздействия и управления рыболовством. При этом были приняты во внимание дополнительные экологические, социальные и экономические факторы, воздействующие на ПЗ [220, 237, 239]. Метод применялся для сравнения текущего состояния морских систем в разных частях мира.

В основу выбора индикаторов положены принципы экологической значимости, чувствительности для рыболовства, доступности данных, соответствия экологическим целям и привлечения внимания общественности. Ранжирование воздействия рыболовства на экосистемы определяется на основе природных и социально-экономических факторов.

Всего было выбрано 8 индикаторов рыболовства. Значение каждого индикатора уменьшается при увеличении объемов рыболовства, либо уменьшение значения индикатора с течением времени является показателем увеличения давления рыболовства на окружающую среду. Дополнительно выбрано также 7 абиотических (социально-экономических) индикаторов.

При расчете индикаторов и индекса воздействия рыболовства используются методы стандартизации для исходных данных и нормализации для итогового индекса. Всего сформировано 4 группы индикаторов, соответствующих экологическим целям. Все индикаторы рассчитываются без учета весовых коэффициентов, чтобы исключить ложную корреляцию [220, 237].

Социально-экономический индекс уязвимости прибрежной зоны

Социально-экономический индекс уязвимости ПЗ применялся, например, для оценки уязвимости берегов о. Крит, а его особенностью является учет как природных, так и антропогенных факторов [211].

Методология расчета индекса основана на сочетании оценки существующего природного состояния и действующих антропогенных факторов и состоит из трех промежуточных индексов, имеющих равноценный вклад в общий индекс и состоящих из 11 индикаторов.

Промежуточные индексы формируются на основании индикаторов, которые относятся к трем категориям: показатели прибрежного воздействия, социально-экономические индикаторы и индикаторы прибрежных характеристик (геологические переменные и морские процессы). Всем индикаторам присваиваются значения от «1» до «5», где значение «5» соответствует наивысшей уязвимости, в зависимости от количественного значения или качественной характеристики индикатора, определенного на основе аналитического обзора мирового опыта по уязвимости различных компонентов окружающей среды.

Рассчитанные значения индекса нормализуются на основе разницы минимальных и максимальных значений, полученные значения ранжируются по пятибалльной шкале, где значение «5» присваивается наиболее уязвимым зонам [211].

1.3.7. Индикаторные и индексные системы оценки геоэкологического состояния для всех уровней воздействия, применимые к прибрежной зоне

Многомерный индекс уязвимости прибрежной зоны

Многомерный индекс уязвимости ПЗ предложен МакЛоглин С. и Купером Дж.А. Г. в 2010 г. [206] на основе антропоцентрической концепции, с точки зрения которой уязвимость ПЗ является функцией природных параметров, факторов изменения и социально-экономических характеристик ПЗ. Два первых компонента определяют степень изменения берегов, тогда как последний необходим для определения уязвимости общества от происходящих процессов [206, 208].

Многомерный индекс формируется из трех промежуточных индексов, каждый из которых формируется набором индикаторов. Каждый индикатор промежуточного индекса принимает значение от «1» (наименьшая уязвимость) до «5» (максимальная уязвимость) [206]. Максимально возможное значение промежуточного индекса определяется по сумме набранного количества баллов уязвимости каждого индикатора с учетом общего количества индикаторов в промежуточном индексе. Полученное значение нормируется, принимая значения от «0» до «100» [231], отображая уязвимость ПЗ в процентах [206].

Многомерный индекс уязвимости ПЗ определяется как среднее арифметическое значение промежуточных индексов.

Данный индекс может применяться для разных пространственных уровней от локального до глобального и использоваться для ПЗ, распределяя ресурсы на локальном уровне

и управляя ими на национальном. Также индекс применим для различных временных интервалов. Результаты расчетов индекса могут быть картографированы.

Совокупный индекс уязвимости прибрежной зоны

Совокупный индекс уязвимости был предложен П. Кришнаном в 2018 г. [187] для оценки уязвимости ПЗ Индии в условиях меняющегося климата. Индикаторы, составляющие индексы воздействия, чувствительности и адаптационной способности, опираются на индикаторы экологического, социального и экономического состояния и подходят для любого уровня организации систем, начиная от уровня локального поселения до глобального. На основе разработанных индикаторов принимается решение о необходимых действиях для защиты ПЗ и располагающихся в ее пределах поселений с целью минимизации негативного воздействия изменения климата и реальной оценки его воздействия на благополучие проживающего населения [187, 233]. Экологические индикаторы связаны с изменением физико-географических условий и подверженности природным рискам прибрежных территорий, тогда как социальные и экономические индикаторы – с текущей деятельностью населения и параметрами антропогенной среды. Индикаторы, входящие в состав индексов, нормализовались, и при их расчете учитывались весовые коэффициенты, определяемые методом экспертных оценок и статистической обработки данных.

Индексы воздействия, чувствительности и адаптационной способности определяются как средние арифметические индикаторов и их весовых коэффициентов, составляющих набор для каждого из индексов.

Данный совокупный индекс определяет степень уязвимости ПЗ в условиях изменения климата. При увеличении значения индекса степень уязвимости системы повышается. Кроме того, использование индекса возможно для различных пространственных уровней. Значение имеющегося индекса дополняется отношением между количеством населения более низкого ранга к более высокому рангу, что позволяет сравнивать относительные значения величин, учитывающих региональные особенности [187].

1.3.8. Российский опыт оценки уязвимости в комплексном управлении прибрежной зоной с применением индикаторных и индексных систем

Индикаторы для комплексного управления прибрежной зоной РФ

Принципы КУПЗ в РФ стали активно разрабатываться на рубеже XX–XXI вв., указывая на необходимость комплексного подхода в управлении и решении сложной многокомпонентной структуры хозяйственной деятельности в прибрежной зоне [55, 100, 200].

Гогоберидзе Г.Г. [25–26] на основе Морской доктрины РФ [70] была сформирована система индикаторов, отображающих природные и антропогенные факторы воздействия и

взаимодействия. Структура разработанного индикаторного подхода применима к различным географическим регионам. Входящие в ее состав индикаторы зависят от особенностей региона. Данная система индикаторов является гибким инструментом оценки и управления ПЗ, учитывающим особенности природного и антропогенного характера.

Для каждого региона разрабатывается набор индикаторов с учетом экологических факторов, которые могут различаться от региона к региону, и в совокупности представлены четырьмя группами (рисунок 1.2).

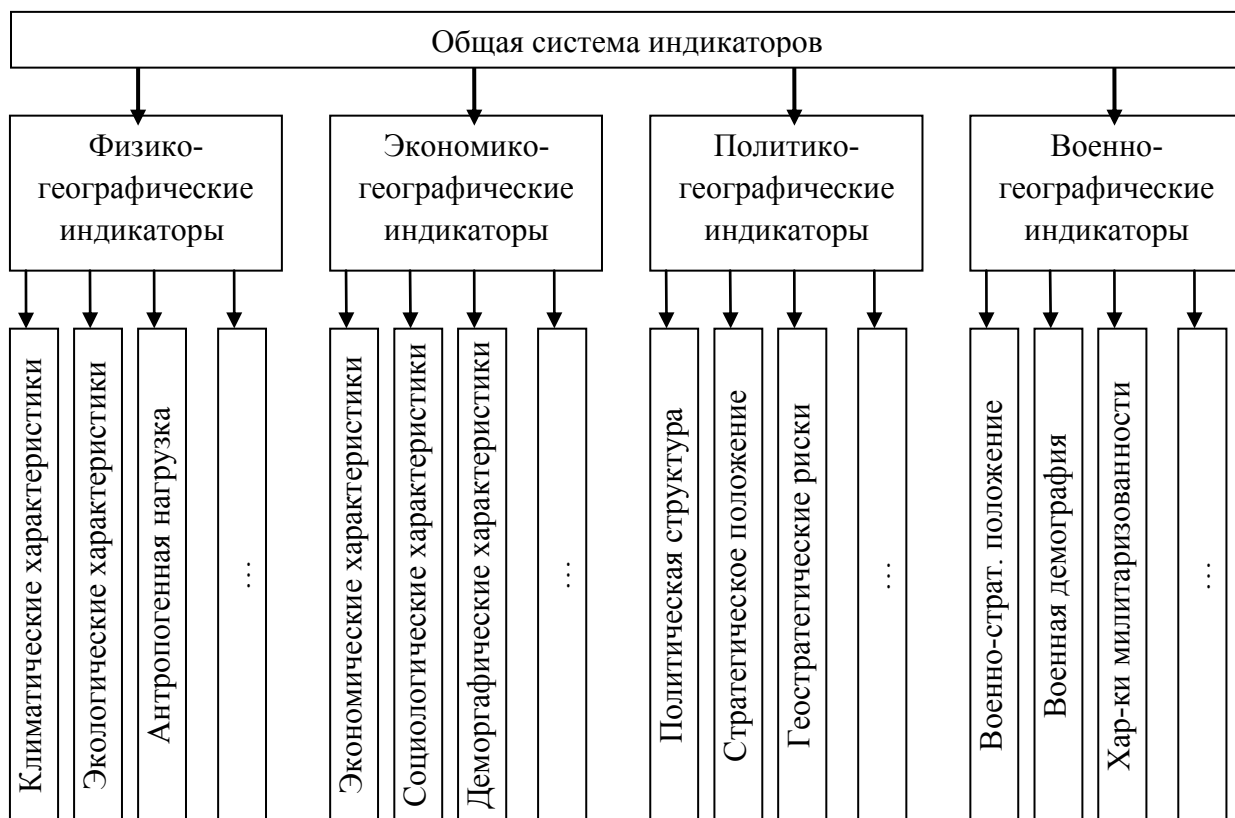


Рисунок 1.2 – Индикаторная система на основе Морской доктрины [6, 25–26, 42]

Наполнение индикаторной системы основано на принципах использования имеющихся данных и возможности очевидного трактования полученных результатов, избегая их двусмысленности.

Районы ограниченной антропогенной деятельности. Экологически уязвимые зоны к разливам нефти и нефтепродуктов

Всемирным фондом дикой природы были разработаны критерии для выделения районов с особым режимом природопользования для прибрежных зон, в основе которых лежит принцип экологической уязвимости. Данный принцип применим к различным элементам антропогенной деятельности в ПЗ, включая гидротехнические работы [69].

К районам ограниченной антропогенной деятельности относят районы с высокой экологической ценностью и уязвимостью, в которых необходимо введение специальных мер по предотвращению негативного антропогенного воздействия.

Методика выделения районов ограниченной антропогенной деятельности для обеспечения безопасности природной среды замерзающих морей по отношению к деятельности нефтегазового сектора основана на экспертной оценке по экологическим и социокультурным данным для выделения ядра районов ограниченной деятельности. В дополнение к ним производится оценка гидролого-гидрографических факторов и факторов воздействия нефтегазового комплекса.

На основе полученных значений строятся карты уязвимости в геоинформационной среде для определения буферной зоны, возможных мест возникновения аварий и дрейфа пятна разлива, с учетом природных условий. Результатом оценки уязвимости является геоинформационный проект с выделенными ядрами экологически уязвимых областей и буферными зонами районов ограничения антропогенной деятельности [69].

Пилотный проект комплексного управления природопользованием в арктических морях в российской части Баренцева моря

Концепция комплексного управления морским природопользованием основана на экосистемном подходе, включает в себя все элементы, которые влияют на качество окружающей среды, либо находятся под таким влиянием, и состоит из двух компонентов:

- морское пространственное планирование;
- мониторинг состояния морских экосистем.

Концепция комплексного управления природопользованием направлена на развитие антропогенной деятельности с учетом сохранения биологического разнообразия экосистем и затрагивает три сферы: экологическую, экономическую и социальную.

Согласно проекту комплексного управления природопользованием в российской части Баренцева моря было определено пространственное пересечение морских отраслей, оказывающих наиболее сильное негативное воздействие на состояние экосистем в российской части Баренцева моря по сезонам года, в том числе и по отношению к портовой деятельности [68].

1.3.9. Российские индикаторные и индексные системы оценки воздействия гидротехнических работ на окружающую среду

Российские индикаторные и индексные системы оценки воздействия гидротехнических работ на окружающую среду (в увязке с концепцией уязвимости прибрежных экосистем) стали активно разрабатываться и применяться в последние несколько лет ввиду быстрого развития

данного типа работ после продолжительного периода застоя [30, 89, 103, 141]. Усиление антропогенного давления привело к необходимости тщательного планирования и проведения работ в акваториях российских морей при гидротехнических работах и использования соответствующей специфической техники. Оценка уязвимости окружающей среды является крайне важной для сохранения и поддержания качества окружающей среды – как для стабильного существования экосистем, так и для населения ПЗ.

Относительная уязвимость и индекс изменения биоты

Концепция относительной уязвимости биоты ПЗ к различным видам антропогенного воздействия, в том числе к дноуглубительным работам, входящим в состав гидротехнических работ, была разработана В. Б. Погребовым и дополнена М. Б. Шилиным в 2006 г. [138]. В таблице 1.3 приведена оценка степени влияния различных видов антропогенной деятельности на компоненты прибрежных экосистем.

Значения коэффициентов уязвимости к различным антропогенным воздействиям определены на основе экспертных оценок и отображают степень уязвимости укрупненных групп компонентов биологических сообществ и скорости их восстановления после повреждения [30].

Таблица 1.3 – Относительная уязвимость различных компонентов биологических сообществ исследуемой экосистемы к основным видам антропогенных воздействий в ПЗ [138]

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости *				
	Геофизическая сейсмическая съемка	Увеличение количества взвеси в воде	Дноуглубление	Нефтяная пленка	Диспергированная нефть
Фитопланктон	1	3	1	1	2
Зоопланктон	2	5	1	2	3
Макрофиты	1	2	5	3	3
Донные беспозвоночные	1	4	5	2	3
Рыбы (икра, мальки)	5	5	4	4	5
Рыбы (взрослые особи)	4	4	3	2	3
Птицы	2	3	2	5	2
Млекопитающие	3	2	1	5	3
Примечание – «1» – наименьшая чувствительность, «5» – наибольшая чувствительность					

Наибольший акцент авторы делают на влиянии непосредственного проведения дноуглубительных работ и увеличения мутности на прибрежные экосистемы, для определения которого используются четыре элемента:

1. оценка общего эффекта от проведения дноуглубительных работ, складывающихся из двух ключевых компонентов: дноуглубления как обобщенного явления и увеличения мутности как наиболее важного экологического фактора;
2. классификация состояния бентосных сообществ по разработанной авторами шестибалльной шкале, в которой «нормальному» (эталонному) состоянию бентоса присвоена оценка «5», «0» соответствует полному уничтожению экосистемы и дополненной М.Б. Шилиным в 2009 г. [138], где «6» – «улучшенное» состояние – для экосистем, состояние которых было антропогенно улучшено;
3. расчет индекса изменения биоты [101], основанный на определении отношения бентосного состояния в текущей точке к эталонному состоянию;
4. построение карт интегральной уязвимости на основе расчета относительной уязвимости к гидротехническим работам [30].

Для оценки экологической уязвимости элементов биоты к дноуглубительным работам (прямое перемещение грунта) и увеличению мутности использовалась шкала с пятью градациями, где «1» – незначительная экологическая уязвимость, «5» – очень высокая.

Критерии многомерного кластерного анализа для проектируемых гидротехнических сооружений

Использование критериев многомерного кластерного анализа позволяет оценить совокупность возможных воздействий на окружающую среду с выбором оптимального варианта решения. В основу метода положен метод евклидовых расстояний. Набор оцениваемых параметров при выборе вариантов размещения портовых сооружений зависит от локальных особенностей ПЗ [89].

Использование многомерного кластерного анализа возможно для сравнения альтернативных вариантов, в том числе – с «нулевой гипотезой», то есть, отказом от строительства. Так, например, при выборе размещения портового комплекса в г. Калининград в экологическом блоке оценки размещения комплекса рассматривалось 16 параметров, включающих такие категории, как параметры дноуглубительных работ, влияние на экосистемы, экологические платежи и экологические ущербы [89, 230].

Количественный анализ эколого-экономического риска

Количественный анализ эколого-экономического риска применяется на стадии принятия предпроектных и проектных решений. Такой анализ позволяет количественно оценить экологический риск для водных экосистем в случае реализации проекта. Данный метод основан на принципе оценки экологического ущерба, который представляет собой стоимость негативного воздействия на окружающую среду, и имеет вероятностно-стоимостный характер [89, 230], тогда как экологический риск выражается через математическое ожидание

экологического риска. Все имеющиеся варианты развития событий определяются через вероятность реализации каждого i -го независимого сценария возможных экологических опасных событий.

Достоинством данного метода является выбор решения среди набора возможных вариантов реализации проекта, основанного на анализе матрицы возможных воздействий и последствий для окружающей среды и стоимости экологического ущерба, представляя собой комплексный анализ многофакторной задачи [89].

Экспресс-оценка ожидаемой «экологической стоимости» проекта

Исследовательской группой под руководством А.В. Жигульского и В.Ф. Шуйского [76, 89, 230] был разработан метод экспресс-оценки ожидаемой «экологической стоимости» проекта, который применяется на предпроектной стадии реализации гидротехнических работ. Данная методика рассматривает зависимости между перемещаемым объемом грунта, площадью образованной территории, величиной платы за воздействие на все компоненты окружающей среды и ущерба биологическим ресурсам. Метод основан на выявленных закономерностях по данным предпроектных исследований и позволяет сравнить «экологическую стоимость» различных вариантов размещения объектов и проведения гидротехнических работ.

Достоинством данного метода является возможность быстрой оценки по основным показателям влияния на окружающую среду и отсеечения вариантов реализации гидротехнических проектов, значительные негативные воздействия которых на окружающую среду определяются изначально.

1.4. Оценка воздействия на природно-технические системы

Проведение гидротехнических работ является основным компонентом морехозяйственной деятельности, который оказывает влияние на ПЗ Невской губы. С одной стороны, гидротехнические проекты являются антропогенными элементами урбанизации и техногенеза, а с другой – трансформируют и оказывают наибольшее стрессовое влияние на геосистему ПЗ.

В настоящей работе под *природно-технической системой* (ПТС) понимается сочетание природного и технического компонентов, в котором осуществляется комплексное взаимодействие между природной средой и техническим объектом на всех этапах его существования, от проектирования до полной реконструкции или ликвидации. ПТС входят в состав *техносферы* – части биосферы, преобразованной человеком ввиду прямого (создание технического объекта) или косвенного (загрязнение, нарушение среды) воздействия [146] –

являясь ее элементами. Под *техногенезом* понимается процесс становления и развития техносферы.

В настоящей работе под *гидротехническими работами* понимаются работы, включающие в себя дноуглубительные и берегонамывные работы, складирование изъятых грунтов в отвалы и транспортное обеспечение вышеуказанных работ. Гидротехнические работы могут оказывать положительные и отрицательные воздействия на геосистему ПЗ.

Негативное воздействие гидротехнических работ преимущественно связано с нарушением среды обитания и отчуждения или изменения части ПЗ ранее доступной для компонентов экосистемы. Обобщенная характеристика негативного воздействия гидротехнических работ на абиотическую компоненту геосистемы представлена в таблице 1.4. Таблица составлена на основе литературного обзора [12, 30, 56, 63–64, 140, 151, 154, 161–162, 174, 177, 179, 182–183, 213, 216].

Обобщенная характеристика негативного воздействия гидротехнических работ на биотические компоненты экосистемы ПЗ представлена в таблице 1.5. В некоторых случаях проведение гидротехнических работ может оказывать положительное воздействие на окружающую среду, когда в небольшом количестве увеличивается доля доступных для гидробионтов питательных веществ, что может приводить к увеличению численности компонентов системы. Это может способствовать временному увеличению кормового ресурса. Таблица 1.5 составлена на основе литературного обзора [12, 30, 63–64, 97, 103, 121, 138, 140–141, 151, 158, 161–162, 164, 182, 192, 194, 213, 216, 219, 223, 226, 236].

Гидротехнические работы оказывают не только негативное (стрессовое) воздействие на окружающую среду, но и положительное (мелиоративное), когда посредством работ восстанавливаются нарушенные ранее территории и акватории.

К очевидным положительным воздействиям относятся [161]:

- удаление или изоляция загрязненных донных отложений безопасным для окружающей среды способом, например, проект Тапарура в г. Сфакс, Тунис [164];
- улучшение качества водной среды за счет удаления причин эвтрофирования вод или управление им, часто для водоемов с затрудненным водообменом;
- подпитка пляжей, включая грунт, изъятый в ходе дноуглубительных работ, пригодный для намыва территории [216], например, искусственно намываемый пляж в центре г. Геленджик [44].
- защита береговой зоны путем отсыпки пляжей, создания искусственных дамб и дюн, например, проект Валласи в Великобритании [44].

Таблица 1.4 – Воздействия гидротехнических работ на абиотическую среду геосистемы ПЗ
Невской губы

Тип воздействия на геосистему ПЗ	Вызвано проектом	Процесс проведения гидротехнических работ		
		Дноуглубление	Берегонамыв	Сброс грунта в отвал
Результат перемещения грунта	•	•	•	•
Результат измененной батиметрии	•	•		•
Нарушение структуры донных отложений	•	•		•
Увеличение концентрации взвешенных веществ		•	•	•
Увеличение мутности		•	•	•
Рассеяние и осаждение взмученных отложений/седиментация		•	•	•
Уменьшение содержания кислорода		•		
Приток соленых вод	•	•		
Шумовое загрязнение		•	•	•
Загрязнение атмосферы		•	•	•
Изменение береговой линии/ приливо-отливной зоны	•		•	
Изменение волновых условий	•	•	•	
Изменение скоростей течений	•	•	•	•
Изменение химических показателей воды		•	•	•

К неочевидным положительным воздействиям, которые улучшают качество окружающей среды, относятся:

- добыча нерудных материалов, а именно песка и гравия, для снижения негативного воздействия на наземные экосистемы [161], например разработка месторождения песка у острова Сескар, восточная часть Финского залива;
- непреднамеренное создание новых биотопов, осваивание живыми организмами склонов вновь созданных территорий [182], например, проект океанариума Кюрасао, проведенный на одноименном острове группы Малых Антильских островов [44].

Любое изменение параметров среды обитания будет приводить к прямому или косвенному воздействию на состояние компонентов экосистемы и влиять на скорость восстановления нарушенных компонентов.

Таблица 1.5 – Воздействия гидротехнических работ на биотическую среду геосистемы ПЗ
Невской губы

Компонент экосистемы	Тип воздействия на компоненты экосистемы				
	Проведение гидротехнических работ	Увеличение концентрации взвешенных веществ	Увеличение мутности	Седиментация	Шумовое воздействие
Бактериопланктон и бактериобентос	прямое*	прямое	прямое	–	–
Фитопланктон	прямое	прямое	прямое	прямое	–
Зоопланктон	прямое	прямое	прямое	–	–
Бентосные организмы	прямое	прямое	прямое	прямое	прямое
Макрофиты и водоросли	прямое	прямое	прямое	прямое	–
Рыбы (икра и молодь)	прямое/ косвенное***	прямое/ косвенное	прямое/ косвенное	прямое	–
Рыбы (взрослые особи)	прямое/ косвенное	прямое/ косвенное	прямое/ косвенное	косвенное**	косвенное
Птицы	косвенное	косвенное	косвенное	–	косвенное
Морские млекопитающие	прямое/ косвенное	косвенное	косвенное	–	прямое/ косвенное
Примечание – * под прямым воздействием понимается непосредственное причинение физического вреда организмам; ** под косвенным понимается воздействие на организм, которое не приводит к физическому травмированию, но влечет в изменении поведенческих повадок, приводит к нарушению биотопа и т.п.; *** прямое/косвенное – понимается воздействие, которое может иметь как прямое физическое воздействие, так и косвенное посредством ухудшения или изменения поведения организма					

Восстановление компонентов экосистем зависит от типа грунта, вида воздействия при проведении гидротехнических работ и биологических сообществ участка ПЗ. Например, А. Боря и др. [207] отмечают, что восстановление макробеспозвоночных составляет от 2 лет, тогда как заросли макрофитов могут восстанавливаться от 2 до свыше 20 лет в зависимости от типа гидротехнических работ.

Обобщения к главе 1

Изложенная в главе информация позволяет сделать следующие обобщения.

Существующие на сегодняшний день методы оценки уязвимости, в том числе прибрежной зоны, в большей степени относятся к региональному уровню. Однако различными авторами указывается на необходимость оценки уязвимости окружающей среды на локальном уровне для более детальной оценки геоэкологической ситуации, в том числе в ПЗ.

Оптимальным подходом при оценке уязвимости ПЗ является комплексный геоэкологический подход, который включает в себя учет как природных, так и антропогенных факторов.

Индикаторный подход имеет широкое применение на региональном и глобальном уровне для оценки состояния ПЗ, позволяя сравнивать зоны различных масштабов при использовании относительных значений и выявлять зоны более уязвимые к природным и социально-экономическим процессам, и используется в практике КУПЗ.

Многообразие расчетных методов и наборов индикаторов определяется целью, для которой они были разработаны, пространственным уровнем оценки и уточнением мест, где необходимо проведение дополнительных работ для оценки возможности какой-либо антропогенной деятельности с учетом меняющихся условий.

Возможность сопоставления значений индикаторов требует нормализации исходных и/или рассчитанных промежуточных значений индикаторов и перехода к безразмерным величинам. Использование весовых коэффициентов имеет некоторый субъективный аспект в виду того, что они основаны на экспертных оценках и могут усиливать позиции индикаторов, изначально имеющих значительный вклад в систему, и уменьшать значение тех индикаторов, которые изначально имеют меньший вклад.

Расчетные индикаторные системы оценки воздействия гидротехнических работ на ПЗ находятся в начальной стадии разработки и встречаются преимущественно только в русскоязычной литературе.

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 экосистемы. 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 околоводных 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

2.1. Физико-географическое описание Невской губы

Невская губа (рисунок 2.1) – это самая восточная часть Балтийского моря, вершина Финского залива. В нее впадает река Нева, которая подпитывает и распресняет воды мелководного залива. Невская губа имеет характерные природные особенности гидрохимического и гидрологического режимов.

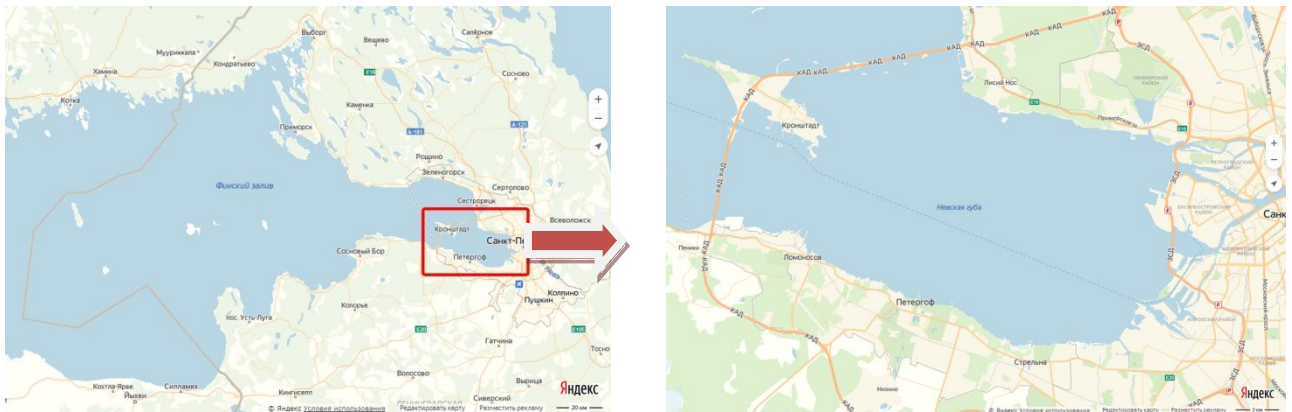


Рисунок 2.1 – Схема расположения Невской губы (Яндекс карты): слева – российская часть Финского залива; справа – Невская губа

Невская губа является уникальным географическим объектом с двойственной природой. С одной стороны, Невская губа является естественным пресноводным объектом, который относится к морской системе, с другой – появление искусственных границ у естественного водного объекта. С введением комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) западная граница пролегает по созданной дамбе [75, 134], превращая Невскую губу в специфическую «техногенную лагуну» [34, 112], естественный водообмен которой с Финским заливом антропогенно уменьшен на 25 % [19].

Сравнение вклада природных и антропогенных компонентов в функционирование Невской губы представлено в таблице 2.1.

Оригинальными характеристиками Невской губы являются:

- наличие с запада четко очерченной антропогенной границы;
- антропогенно-нарушенный рельеф дна;
- измененная циркуляция вод;
- регулирование уровня воды и снижение вероятности катастрофических наводнений;

- высокий уровень загрязненности воды;
- регулярное временное увеличение концентрации взвешенных веществ при проведении гидротехнических работ;
- временное снижение прозрачности воды при проведении гидротехнических работ;
- формирование наилка в результате антропогенной деятельности;
- высокий уровень загрязненности донных отложений;
- трансформированные берега в результате антропогенной деятельности.

Таблица 2.1 – Естественные и антропогенные элементы Невской губы

Название компонента	Природная составляющая	Антропогенная составляющая
Границы	Естественная западная граница Невской губы проходит по линии Лисий Нос–Кронштадт–Ломоносов [86, 145]	С 2011 г. после введения в строй КЗС западная антропогенная граница очерчена данным сооружением [75, 134]
Рельеф дна	Характерна естественная мелководность, средние глубины 3–5 м, максимальная глубина до 6,4 м [10, 34, 75, 145]	Глубина судоходного канала 12,5 м, ямы после разработки карьеров песка – до 20 м [46, 145]
Температура воды	Прогрев зависит от количества приходящей солнечной радиации [145]	На прогрев влияют измененный рельеф дна и циркуляция вод [147]
Соленость	Естественная соленость – 0,02–0,04 ‰ до 0,2 ‰ [10, 33], при нагоне воды до 2,5–2,7 ‰ [145]	Придонная соленость в Морском канале повышается до 5,8 ‰ в случае нагона вод с запада [75, 145]
Циркуляция воды	Водные массы обладают значительной подвижностью, водообмен при этом затруднен по естественным причинам [75, 145]	Водообмен затруднен после строительства КЗС, система течений изменена, скорость течений увеличилась в створах КЗС и замедлилась перед глухими частями [112]
Уровень воды	Характерны естественные нагонные явления, максимальная высота подъема воды до 3–4 м [36]	После строительства КЗС при возникновении опасности наводнения створы дамбы закрывают. С внутренней стороны Невской губы при закрытой дамбе происходит постепенное повышение уровня воды из-за ее поступления из реки Нева
Катастрофические наводнения	Характерны наводнения, связанные с нагонными явлениями [75]	После строительства КЗС вероятность наступления катастрофических наводнений минимизирована

Продолжение таблицы 2.1

Название компонента	Природная составляющая	Антропогенная составляющая
Ледовый режим	В зимний период для губы характерен ледяной покров, толщина в среднем составляет 50–60 см. [75, 120]	В результате отмечающегося потепления климата количество теплых зим в конце XX-начале XXI вв. увеличилось [120]
Гидрохимическая характеристика	Ультрапресные, гидрокарбонатные натриево-кальциевые воды, минерализация от 88 до 115,6 мг/л [58]	Категория вод – «загрязненные»; основные загрязняющие вещества: нефтепродукты и тяжелые металлы; сильное эвтрофирование по южной части губы; анаэробные условия в местах бывших карьеров по добыче песка [9, 136–137]
Содержание взвешенных веществ	Максимальная природная концентрация до 30–40 мг/л [145]	При проведении гидротехнических работ максимальные значения составляли до 300 мг/л в 2005–2008 гг. [128]
Прозрачность	Летом в южной части губы может опускаться до 0,1–0,3 м, в пределах губы максимальная прозрачность до 2,1–2,5 м [96, 145]	Во время проведения гидротехнических работ прозрачность может опускаться до 0,1–0,3 м [96, 145]
Донные отложения	От грубооломочных отложений до пелитово-алевритовых илов, преобладают песчаные грунты, в углублениях заилены [34, 145]	Алевро-глинистые грунты, толщина антропогенных грунтов, перекрывающих естественные пески составляют до 5 см в северной части Невской губы [34, 218]
Геохимическая характеристика донных отложений	Вся губа подвержена антропогенному воздействию [50]	Загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами, в портовых областях отмечается загрязнение фенолами и хлорорганическими веществами [9]
Берега	Берега относятся к техногенному типу [74]	Все берега Невской губы преобразованы в результате антропогенной деятельности [74]

Донные отложения и их геохимическая характеристика, берега и гидрохимическая характеристика водной толщи, являются наиболее уязвимыми компонентами при активной антропогенной деятельности. Проведение гидротехнических работ является неотъемлемым компонентом поддержания возможности портовой деятельности, при этом являясь одним из наиболее важных факторов, оказывающем негативное воздействие на саму геосистему.

Разработка комплексно-индикаторной методики для оценки геоэкологической ситуации прибрежной зоны (ОГСПЗ), является возможным методом для оценки и прогнозирования качества окружающей среды при проведении гидротехнических работ.

2.2. Особенности биологической характеристики Невской губы в условиях техногенеза

Невская губа относится к рыбохозяйственным водоемам высшей категории и служит естественным рыбопитомником, в котором происходит нерест и развитие многих пресноводных видов рыб, пополняющим промысловые стада самой губы и восточной части Финского залива. [145].

Водные массы Невской губы оцениваются как мезотрофные, по северному берегу ПЗ – слабоэвтрофные, по южному – эвтрофные и высокоэвтрофные [91].

Состояние биологических сообществ Невской губы зависит от [145, 147]:

- природных колебаний и естественных циклов окружающей среды в распределении абиотических факторов (многолетние изменения речного стока, содержание кислорода, температура);
- антропогенной деятельности, включая создание техносферных объектов, которая приводит к изменению естественных абиотических факторов (изменение течений, солености и других).

На протяжении XX – начала XXI вв. увеличение антропогенной нагрузки ввиду развития города и промышленности и активизация гидротехнических работ оказывали наиболее значительные воздействия на состояние биологической компоненты геосистемы ПЗ Невской губы.

Наиболее чувствительными сообществами к антропогенному воздействию, связанному с проведением гидротехнических работ, являются бентосные сообщества и макрофиты Невской губы, а также икра и молодь рыб. Данные сообщества наиболее подвержены воздействию увеличения количества тонкодисперсных частиц и не имеют физической способности к миграции из неблагоприятных районов, или их скорость перемещения по сравнению с масштабами работ ничтожна.

В конце XX – начале XXI вв. выделяют пять периодов изменения биологического сообщества Невской губы в связи с проведением гидротехнических работ [9–10, 96].

Период 1994–2002 гг. характеризуется процессами восстановления экосистемы, после прекращения гидротехнических работ в Невской губе с начала 1990-х гг. ввиду экономического спада, и снижением антропогенного давления. В данный период отмечается увеличение числа донных организмов и появлением «чистоводных» видов (хириноиды *Monodiamesa bathyphila*

(Kieffer), *Psectrocladius simulans* (Johannsen), *Psectrocladius psilopterus* (Kieffer in Kieffer and Thienemann) и *Synorthocladius semivirens* (Kieffer)), а также замещением олигохет-индикаторов загрязненных вод более чистоводными видами *Lampodrilus isoporus variabilis* Svetlov и *Spirosperma velutinus* (Grube) [10].

В 2003–2006 гг. возобновляется интенсификация антропогенной деятельности, активизируется проведение гидротехнических работ и отмечается снижение видового разнообразия зообентоса вплоть до его полного исчезновения в области проведения работ [10].

В 2008–2011 гг. происходит повторное восстановление экосистемы Невской губы ввиду прекращения крупных гидротехнических работ и завершением строительства очистных сооружений [9, 10].

Период 2012–2015 гг. связан с новой волной активизации гидротехнических работ, связанных со строительством аванпорта «Бронка», обустройством его акватории и подходного фарватера [10].

В 2016–2018 гг. происходит завершение строительства аванпорта «Бронка». В 2016 г. доминирующими группами зообентоса были олигохеты, моллюски и хирономиды [16].

2.3. Техногенное воздействие на Невскую губу и формирование природно-технической системы

Со второй половины XX в. Невская губа и ее ПЗ оказываются под мощным техногенным воздействием, к основным видам которого относятся:

- проведение гидротехнических и портостроительных работ;
- портовая деятельность и осуществление морских перевозок;
- урбанизация береговой части ПЗ.

Рассмотрим основные элементы техногенного воздействия на Невскую губу.

2.3.1. Урбанизация прибрежной зоны Невской губы

Под *урбанизацией* в настоящей работе понимается увеличение роли городов, городской культуры, численности городского населения в общем процессе устойчивого развития. Уникальность Невской губы с точки зрения урбанизации заключается в том, что вся ее наземная часть ПЗ «оккупирована» пятимиллионным Санкт-Петербургом, который «обнимает» Невскую губу с трех сторон, а с четвертой искусственно очертил ее границу.

Численность населения Санкт-Петербурга с момента его основания росла постепенно, достигнув первого своего пика перед началом Первой мировой войны, превысив 2 млн. человек, а к 1920 г. сократилась до 722 тыс. человек. После прорыва блокады во время Второй

мировой войны в Ленинграде насчитывалось около 560 тыс. жителей, что было самым низким значением численности в XX в. В 1988 г. в городе родился 5-и миллионный житель. С 1990-х гг. и до 2007 г. естественная численность населения города сокращалась, а увеличение отмечалось за счет миграции из других городов [52]. В 2020 г. согласно официальным данным численность города составляет свыше 5,39 млн. человек [94].

По состоянию на 2020 г. площадь Санкт-Петербурга составляет 1439 км², город разделен на 18 районов и 111 муниципальных образований [94].

Первые поселения в ПЗ Невской губы появились задолго до правления Петра I, однако именно при нем начинается активное освоение земель, как необходимость быстрого закрепления территории и обеспечения ее защиты в первую очередь от шведов.

Урбанизация ПЗ Санкт-Петербурга началась во времена Петра I с освоения дельты реки Нева и практически параллельно – Невской губы – приведшая к заселению и развитию территорий, в настоящее время входящих в состав Санкт-Петербурга. Во времена основания города многие территории в ПЗ Невской губы были некрупными опорными перевалочными постами, путевыми домами, загородными усадьбами [52]:

- в 1704 г. строится крепость Кроншлот на месте современного Кронштадта;
- на месте Петергофа до начала XVIII находились финские деревни, в 1705 г. Петергоф упоминается в виде путевого дома, с 1710-х гг. начинается строительство усадьбы;
- датой основания Ломоносова считается 1710 г. с началом строительства усадьбы А.Д. Меньшикова;
- село Лисий Нос, как и Стрельна, упоминается уже в 1500 г.

В дальнейшем вышеуказанные поселения трансформировались в населенные пункты и города, и в XX в. вошли в состав Санкт-Петербурга, сформировав некоторые приморские локальные муниципалитеты (ПЛМ) Невской губы. В настоящее время численность населения в ПЛМ варьирует от 15 тыс. человек в Стрельне до 85 тыс. человек в Петергофе в южной части губы. По данным Петростата [94] в северной части Невской губы население составляет 4,5–4,7 тыс. человек (Лахта-Ольгино, Лисий Нос), на территориях остальной части северной Невской губы и центральной части города население превышает 100 тыс. человек в каждом из районов.

Санкт-Петербург является крупнейшим транспортным узлом на северо-западе России и вторым по величине после Москвы. В городе функционирует свыше 700 крупных и средних предприятий.

В ПЗ Невской губы расположены следующие виды природопользователей [100]:

- промышленность:

- портовый комплекс Большой порт Санкт-Петербург, терминалы Ломоносов, Кронштадт, и аванпорт «Бронка», которые входят в его состав, является одним из крупнейших в стране;
- судостроительная промышленность, верфи и морские заводы;
- машиностроение и металлургия (группа компаний «Кировский завод»);
- КЗС;
- Ленинградская военно-морская база;
- объекты исторического и культурного наследия: садово-парковые ансамбли;
- ООПТ;
- ПЛМ.

Город оказывает значительное негативное воздействие на качество окружающей среды ввиду загрязнения атмосферного воздуха, почвы, вод реки Нева с притоками и Невской губы, тяжелыми металлами, органическими и токсическими соединениями. В пределах Невской губы нет разрешенных мест для купания. В связи с вводом КЗС в эксплуатацию в 2011 г. отмечается снижение водообмена с восточной частью Финского залива и Балтийским морем, усиление загрязнения и эвтрофикация губы.

В настоящей работе ОГСПЗ от реализации гидротехнического проекта проведена для двух прибрежных районов (ПР): Петродворцовый, в состав которого входит ПЛМ Ломоносов) и Кронштадт (не имеет подразделений на ПЛМ), в первом случае – место строительства аванпорта «Бронка», во втором – проведение работ по созданию подходного канала проходит в непосредственной близости к Кронштадту. В таблице 2.2 приводятся основные характеристики указанных ПЛМ.

2.3.2. Формирование природно-технической системы Невской губы

Формирование ПТС в ПЗ Невской губы началось со времени основания Санкт-Петербурга и продолжается в настоящее время (таблица 2.3).

С начала XVIII века начинается формирование техногенезированной оболочки Невской губы, в первую очередь – в связи с необходимостью защиты вновь образуемого города от военной агрессии, а также для приспособления к природным условиям, и созданием необходимой инфраструктуры для функционирования морской столицы.

В XVIII–XIX вв. реализуются первые масштабные технические проекты в ПЗ Невской губы, направленные на формирование Санкт-Петербурга как морской столицы и для его защиты. В дальнейшем происходит увеличение техногенного воздействия в связи с развитием центра Санкт-Петербурга, близлежащих городов и поселений (в XX веке поглощенных разрастающимся городом), развитием промышленности, увеличением численности населения,

крупными строительными проектами. По мере развития города, для его защиты и развития транспортной инфраструктуры проводятся все новые гидротехнические работы (таблица 2.3).

Таблица 2.2 – Основные характеристики ПР Петродворец, ПЛМ Ломоносов и Кронштадт

Название показателей	Название ПР/ПЛМ	
	Петродворцовый ПР/ПЛМ Ломоносов*	Кронштадт (ПР и ПЛМ)
Площадь, км ²	109/35 [98]	19,35 [60]
Численность населения, человек [132]:		
2009	116 716/38 443	42 645
2010	128 156/42 505	43 005
2011	128 778/42 744	43 100
2012	129 763/43 076	43 683
2013	130 127/42 784	43 614
2014	131 495/42 878	43 687
2015	133 688/43 209	44 074
2016	135 565/43 244	44 374
2017	138 146/43 182	44 477
2018	140 949/43 191	44 401
Загрязнение атмосферного воздуха в 2016 г.		
Количество постоянных источников загрязнения, шт.	974/–[144]	294 [143]
Количество промышленных предприятий, шт	38/–[144]	15 [143]
Валовый выброс, т/г	2201,6/–[144]	1015,9 [143]
Площадь береговых полос, га	1 116/–[144]	213 [143]
Промышленность	Предприятие по производству оборудования для железнодорожных пассажирских вагонов «КМТ», филиал завода резинотехнических изделий «Красный треугольник», завод растворимых смесей, деревоперерабатывающие предприятия; предприятия, входящие в структуру Ленинградской военно-морской базы, промзона НИИ «Гидроприбор»** [65]	Морской завод по ремонту судов и турбин, швейная фабрика [60], предприятия пищевой промышленности: крупнейшим из которых является Кронштадтский мясоперерабатывающий завод, хлебокомбинат ОАО «Заря» и рыбная фабрика ООО «Кроф» [125]
Порты/терминалы	С 2003 г. Ломоносовский грузовой терминал [79], с 2015 г. введен аванпорт «Бронка»** [35]	С 2002 г. контейнерный терминал «МОБИ ДИК» [79, 93]
Примечание – *В числителе приводятся показатели для ПР, в знаменателе – для ПЛМ, ** данные приводятся только для ПЛМ Ломоносов		

Интенсификация проведения гидротехнических работ в ПЗ Невской губы происходит с середины XX в. (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Основные гидротехнические проекты в Невской губе

Период	Трансформация Невской губы
Начало XVIII в.	Строительство в мелководье Невской губы 17 фортов, первым из которых стал форт «Кроншлот», возведенного в 1704 г. по проекту и под руководством Петра I [34]
XVIII–XIX вв.	Между островом Котлин и северным и южным берегами Невской губы сооружаются подводные ряжевые преграды [34]
1885 г.	Окончание строительства Морского канала с глубинами до 12 м [34]
С 1960-х гг.	Намыв городских территорий, разработка подводных месторождений песка (начало с Южно-Лахтинской отмели), масштабные работы по углублению фарватеров, прокладка кабелей в заглубленных подводных траншеях [34, 96]
1979–2011 гг.	Строительство Комплекса защитных сооружений Ленинграда, в дальнейшем Санкт-Петербурга, от наводнений (КЗС) [218], является самым крупным гидротехническим объектом
Конец 1980-х – начало 1990-х гг.	Намыв новых городских территорий в юго-восточной части Невской губы [34]
2005–2008 гг.	В рамках реализации проекта «Морской фасад» намыто 476,7 га для создания специального пассажирского порта и созданием подходного канала глубиной до минус 14 м. За четыре года проекта в подводных отвалах (Северная и Южная Лахта) было размещено 21,39 млн. м ³ грунта [54, 218]. Самый крупный проект капитальных гидротехнических работ с начала 2000-х гг.
2003 г.	Строительство подходного канала к гавани Стрельна, длиной 80 м, шириной – 7,8 м и отметками дна от минус 3,7 до минус 4,3 м [107]
2005 г.	Реконструкция «Барочного бассейна», где производилось увеличение глубины до минус 11,5 – минус 12 м [107]
2007 г.	Завершение строительства ковша «Нефтяной гавани» размером 1,1 км на 0,57 км, с отметками акватории от минус 11,7 до минус 12,2 м [107]
2008 г.	Ремонтные дноуглубительные работы на части «Петровского фарватера» с увеличением глубины до минус 11,0 – минус 11,3 м [107]
2014 г.	Реконструкция Большого Кронштадтского рейда с извлечением 430 тыс.м ³ грунта при создании уширения входа в канал Литке-Западный, разворотного места диаметром 560 м и якорной стоянки диаметром 530 м [107]
С 2011 г.	Строительство аванпорта «Бронка», относящегося к морскому порту Большой Санкт-Петербург [107]

В 1979 г. начинается строительство Комплекса защитных сооружений Ленинграда (с 6 сентября 1991 г. – Санкт-Петербурга) от наводнений (КЗС) завершившееся в 2011 г. КЗС – самое большое гидротехническое сооружение – является искусственно сформированной антропогенной границей между Невской губой и восточной частью Финского залива [218].

На начало XXI в. приходится как завершение масштабных проектов, таких как КЗС, так и реализация значительного количества вновь инициированных гидротехнических работ, оказавших значительное воздействие на геосистему Невской губы. На рисунке 2.2 приводятся основные гидротехнические проекты, реализованные в 2000–2018 гг.

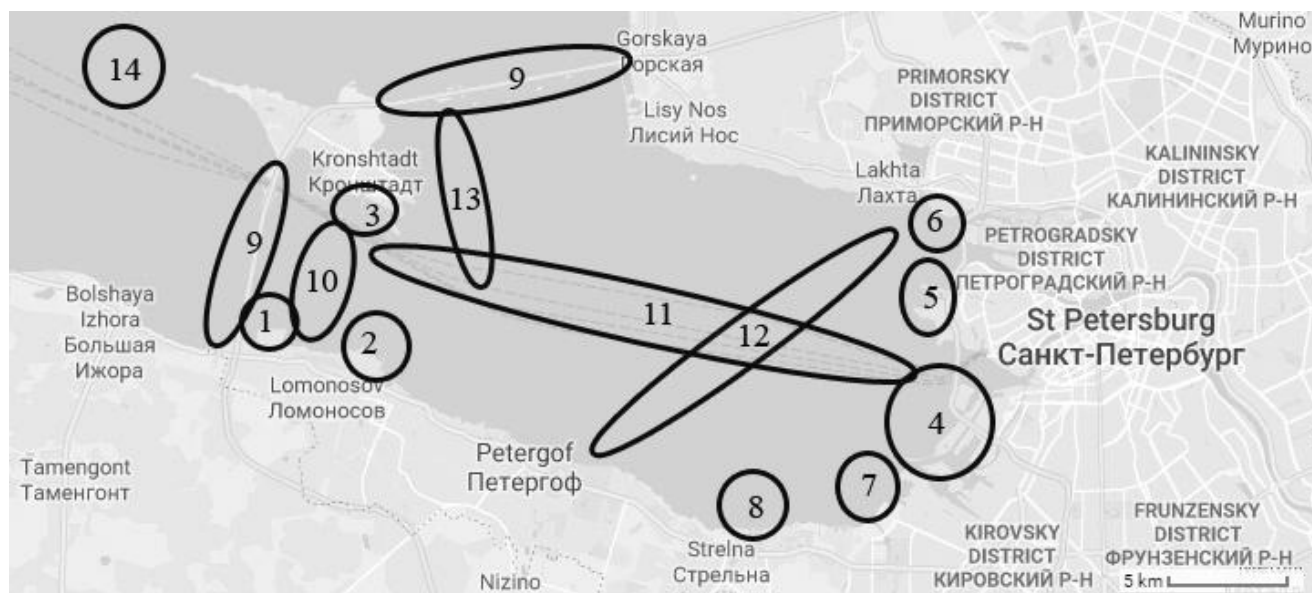


Рисунок 2.2 – Схема проведения гидротехнических работ в акватории Невской губы в 2000–2018 гг.: 1 – аванпорт «Бронка»; 2 – порт г. Ломоносов; 3 – порт г. Кронштадт; 4 – основная часть порта Большой Санкт-Петербург; 5 – пассажирский порт; 6 – карьер и отвал грунта Северная Лахта; 7 – карьер и отвал грунта 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

В Морском порту «Большой порт Санкт-Петербург» в 2003–2014 гг. по данным РОСМОРПОРТА были выполнены капитальные и ремонтные гидротехнические работы (таблица 2.3) [107].

С 2011 г. в юго-западной части Невской губы, производится строительство аванпорта «Бронка», примыкающего к внутренней стороне КЗС и относящийся к морскому порту – Большой порт Санкт-Петербург.

Развитие портовой деятельности и увеличение транспортного грузо- и пассажиропотока требуют поддержания уже имеющейся инфраструктуры и создания новых объектов [12, 140].

2.3.3. Портовая и транспортная деятельность в Невской губе

Самый крупный морской порт на Северо-Западе России – «Большой порт Санкт-Петербург» – находится в Невской губе. Основная часть портового комплекса расположена в устьевой части реки Нева, остальные терминалы – на о. Котлин, в г. Ломоносов и аванпорту «Бронка» (рисунок 2.3). Площадь акватории «Большой порт Санкт-Петербург» составляет около 629,9 км². В порту расположено более 200 причалов, глубинами до 11,9 м, общей протяженностью 31 км [71].



Рисунок 2.3 – Схема расположения объектов морского порта «Большой порт Санкт-Петербург», где красным цветом обозначен пассажирский порт, синим – грузовые; 1 – аванпорт «Бронка»; 2 – порт г. Ломоносова; 3 – порт г. Кронштадт; 4 – основная часть порта «Большой порт Санкт-Петербург»; 5 – пассажирский порт

Пропускная способность морского порта «Большой порт Санкт-Петербург» составляет 106368,39 тыс. т в год, из которых наливные грузы составляют 20023,8 тыс. т в год, сухие – 30945,79 тыс. т в год, накатные – 2405 тыс. т в год, контейнеры – 4416,15 тыс. единиц в двадцатифутовом эквиваленте в год. Большая часть терминалов морского порта расположена непосредственно в Санкт-Петербурге. В г. Ломоносов оператором портового терминала является ООО «Балтимор», аванпорта «Бронка» – ООО «Феникс», в Кронштадте работу обеспечивают два оператора: ООО «МОБИ ДИК» и ОАО «Трест механизации строительных

работ» [79]. Плотность движения морских и речных судов в Невской губе напрямую связана с имеющимися фарватерами и подходными путями. На рисунке 2.4 представлена схема движения маломерных морских и речных судов в 2016–2017 гг.

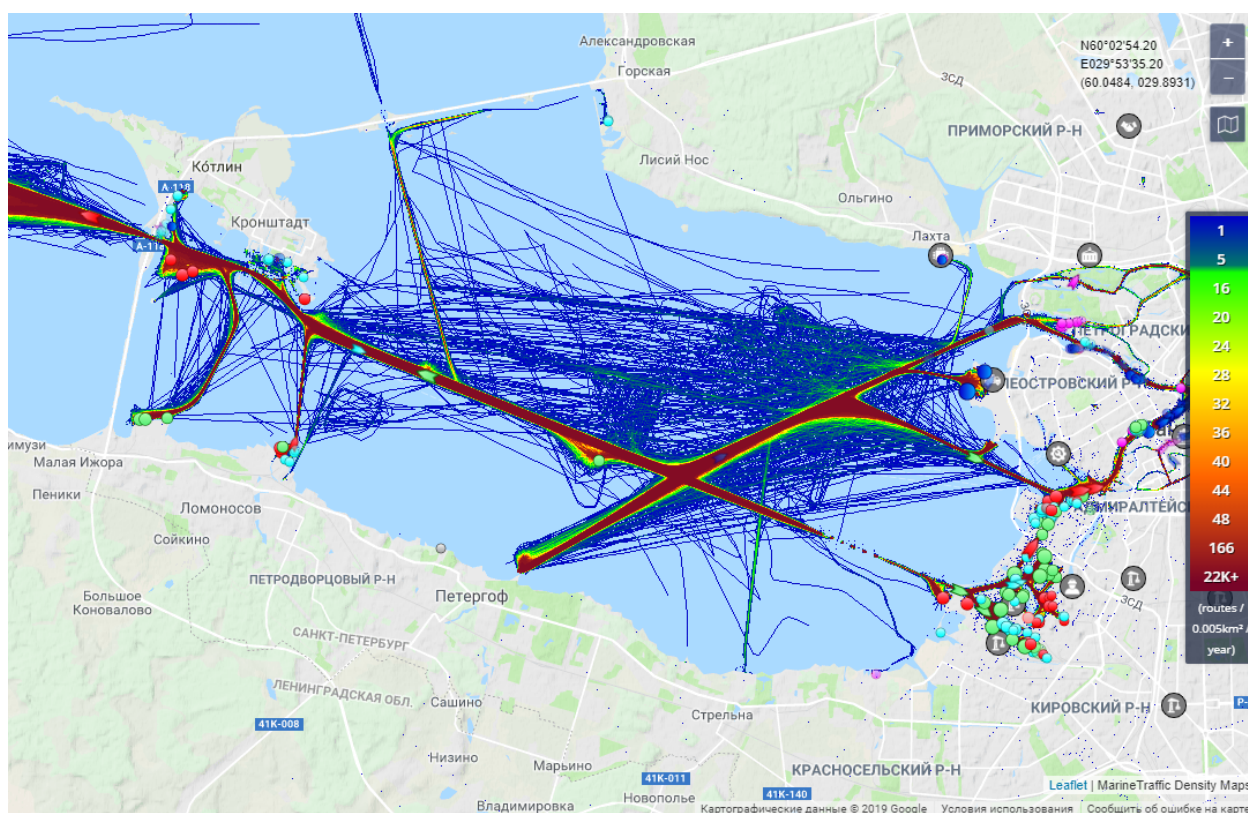


Рисунок 2.4 – Схема движения морских и речных судов в Невской губе по [205] Наибольшая плотность прохождения судов, выражающаяся в количестве маршрутов/0,005 км²/год, отмечена темно-красным цветом, наименьшая – синим

С расширением морского порта «Большой порт Санкт-Петербург» наблюдается увеличение транспортной нагрузки на акваторию и территории, прилегающие ко вновь образованным терминалам. В центральную часть портового комплекса города заходит значительное количество судов класса река-море, следующих из Невской губы по р. Нева и далее по Беломоро-Балтийскому каналу. Морской пассажирский порт круглогодично обеспечивает перевозку пассажиров в Финляндию, Швецию и прибалтийский страны. В черте города по Невской губе выполняются рейсы, связывающие Петергоф с Дворцовой набережной.

2.3.4. Прочие негативные воздействия техногенеза на окружающую среду

Помимо непосредственного проведения гидротехнических работ, морской транспортировки грузов и портовой деятельности, ПЗ Невской губы подвержена следующим видам негативного воздействия техногенеза на окружающую среду:

- гидрохимическое и геохимическое загрязнение неорганическими, органическими и токсическими соединениями, вплоть до перекрытия естественных донных отложений антропогенным наилком, в результате выноса веществ р. Нева и другими реками, впадающими в Невскую губу, поступление веществ со сточными водами [91, 147], в ходе портовой, транспортной, промышленной деятельности, включая атмосферный перенос из береговой зоны, и оседания загрязняющих веществ в водной и донной средах, а также проведением гидротехнических работ [46, 64, 134, 137];
- повторное загрязнение водной среды в результате гидротехнической деятельности при повторном взмучивании и высвобождении веществ, захороненных на дне [7, 129];
- эвтрофирование [234] – в результате значительного поступления органического вещества со стоком реки Нева и других рек, со сточными водами мегаполиса и населенных пунктов, находящихся в пределах водосбора Невской губы [91], нерациональным сельским хозяйством [45], связанным с избыточным внесением органических удобрений в грунт и их смыва и вынос поверхностными и приповерхностными водами в Невскую губу, сток с животноводческих ферм;
- атмосферное загрязнение, связанное с выбросами в атмосферу различных загрязняющих веществ от частного и общественного транспорта в пределах городской черты, судоходного транспорта и дноуглубительной техники, портовой деятельности и промышленности;
- шумовое загрязнение при функционировании мегаполиса, судоходстве, гидротехнических работах [55];
- световое загрязнение от мегаполиса, портовых сооружений, судоходства [55];
- тепловое загрязнение от мегаполиса, изменение альбедо подстилающей поверхности и отражательной способности, формирование городского острова тепла путем накопления тепловой энергии городом днем и удержание тепла ночью, сброс сточных вод [55];
- электромагнитное воздействие в результате транспортировки электроэнергии высоковольтными линиями электропередачи, кабелей энергоснабжений, проложенных по дну Невской губы, повсеместного использования современных технологий связи [55];
- инвазия или появление и распространение видов-вселенцев [55, 234] попадающих в Невскую губу при судоходстве, затоком с прилегающих районов, изменением климата;

- изменение природного состава биотопа в результате загрязнения окружающей среды, увеличения содержания органического вещества, проведения гидротехнических работ [91, 234];
- ландшафтно-деструкционное – изменение наземных прибрежных и подводных ландшафтов в результате гидротехнических работ, создания, развития и поддержания портовых комплексов, разработки карьеров по добыче песка, сброс грунта в официальные подводные отвалы, несанкционированные подводные свалки грунта, изменения береговой линии, уничтожение природных заболоченных территорий (ветленды и плавни) [55];
- техносферное – строительство КЗС, которое изменило систему течений в районе дамбы по сравнению с естественными условиями [91].

2.4. Оценка воздействия техногенного объекта в прибрежной зоне на примере аванпорта «Бронка»

Необходимость модернизации существующих и создания новых портовых комплексов на территории современной России появилась после распада Союза Советских Социалистических Республик. Развитие морехозяйственного комплекса связано с необходимостью обеспечения страны выходом в океан, который был значительно сокращен с начала 1990-х гг., и возможностью принимать суда любых типов и осадки. Большой порт Санкт-Петербург является одним из ключевых портовых комплексов в российской Балтике через который проходит значительное количество разнообразных грузов. В начале XXI в. возможность его дальнейшего развития и обеспечения лучшей логистики связано с созданием площадок за пределом центра Санкт-Петербурга.

2.4.1. Технические характеристики аванпорта «Бронка»

Формирование аванпорта «Бронка» в ПЗ Невской губы является наиболее крупным строительным гидротехническим проектом в Невской губе в 2010-х гг., расположенным в 700 м от вновь созданного в 2013 г. ООПТ «Южное побережье Невской губы». Аванпорт находится на стыке экологических и социально-экономических интересов, ввиду необходимости расширения портовой деятельности и при этом сохраняя важную миграционную стоянку птиц и нерестилища рыб, расположенных в зарослях южного берега Невской губы.

Аванпорт «Бронка» [86] расположен в юго-западной части Невской губы, в 0,7–1,8 км восточнее Южной дамбы КЗС, в Петродворцовом районе Санкт-Петербурга, в координатах (59°56,00' с.ш. 29°40,00' в.д.) [47] вблизи г. Ломоносов. Аванпорт построен для разгрузки

основной части морского порта «Большой порт Санкт-Петербург» [121]. В 6 км севернее аванпорта находится Санкт-Петербургский морской канал – главный фарватер для входа в морской порт «Большой порт Санкт-Петербург», в 5 км к востоку проходит трасса Ломоносовского канала, соединяющего Ломоносовскую гавань с Санкт-Петербургским морским каналом [47], расстояние до порта Санкт-Петербург – 60 км. Контейнерный грузооборот аванпорта, работающего на полную мощность, оставляет 1,9 млн. TEU (двадцатифутовый эквивалент, международное название: twenty-foot equivalent unit, TEU), пропускная способность – 260 тыс. судов в год [212].

Аванпорт «Бронка» представляет собой многофункциональный морской перегрузочный комплекс (ММПК), общая площадь которого составляет 206,9 га [121]. Ширина акватории составляет 380 м [86].

Реализация проекта аванпорта включает в себя:

- намыв территории площадью 97,37 га и создание причалов с проведением необходимых гидротехнических работ. Реализация первой очереди проекта – с января 2011 г. по ноябрь 2015 г., второй – 2017 г.
- проведение гидротехнических работ для создания подходного канала от Морского фарватера до создаваемого аванпорта, операционной акватории, включая технический канал, разворотный круг, установку необходимых навигационных знаков:
 - первый этап 2013–2015 гг. (МК-1) – создание подходного канала с глубиной минус 11,2 м, шириной 150 м и общей длиной порядка 6 км, а также создание технологических каналов и подчистка каналов;
 - второй этап 2014–2017 гг. (МК-2) – углубление подходного канала до глубины минус 14,4 м и увеличение его ширины до 185 м.

Общий объем дноуглубительных работ составил:

- общий объем песка, использованного для намыва территории аванпорта, составил 2,8 млн. м³;
- объем изъятых грунтов в результате МК-1 составил 19 млн. м³ [35, 92], из которых 11,5 млн. м³ при строительстве первой очереди подходного канала и 7,2 млн. м³ разворотного круга;
- объем изъятых грунтов в результате МК-2 составил 10 млн. м³ [104].

На рисунке 2.5 показана территория до начала строительства аванпорта «Бронка» и по окончании строительства МК-2.



Рисунок 2.5 – Территория г. Ломоносов и аванпорта «Бронка» до начала реализации работ и по состоянию на 2019 г., где А – ПЛМ Ломоносов и прилегающая акватория Невской губы [31]; Б – аванпорт «Бронка» и ПЛМ Ломоносов в июне 2019 г. [49]

Аванпорт «Бронка» расположен с внутренней стороны КЗС, что обеспечивает защиту от сгонно-нагонных явлений, сниженную ледовую нагрузку и доступную транспортную развязку с городом по Кольцевой автодороге.

2.4.2. Природные условия в районе строительства аванпорта «Бронка»

Аванпорт расположен на мелководье, Ломоносовской банке, где естественные глубины составляют 0,5–2,0 м, что требует большого количества гидротехнических работ.

Грунты района проведения работ представлены крупным песком с мелким гравием в открытой акватории, в ПЗ – ил с мелким песком, встречаются отдельные камни [47]. Грунты в районе строительства аванпорта «Бронка» относятся к категории чистые, за исключением илов, относящихся к категории слабозагрязненных. Содержание тяжелых металлов и накопление техногенных осадков для района строительства соответствует общей ситуации в Невской губе. До начала строительства аванпорта скорость осадконакопления в среднем составляла 68 мг/см^2 , что характерно для техногенного осадконакопления [13].

Качество воды в Невской губе в районе аванпорта «Бронка» в период строительства оценивалось как «загрязненные» и «грязные» [10]. Наблюдалось превышение значений предельно-допустимых концентраций (ПДК) в воде по свинцу, меди, цинку и кобальту. Значение фоновых концентраций по нефтепродуктам в районе аванпорта превышало фоновые значения в 80 % случаев и в значительной мере связано с деятельностью порта и транспортной нагрузкой на регион [136].

До реконструкции очистных сооружений в Петергофе, которые принимают воду и из Ломоносова, значительные объемы органического вещества поступали в Невскую губу, что отмечалось еще в 1980-х гг., регистрируя значительный рост всех видов планктона, бентоса, воды относились к категории эвтрофных.

Значительный объем гидротехнических работ, вместе с наличием тонкодисперсной фракцией грунтов и измененным течением у КЗС, привел к увеличению концентрации взвешенных веществ [16] и перекрытию дна взмученным грунтом, ухудшив качество воды. Большая часть грунта, изъятая при проведении гидротехнических работ, была размещена в подводном отвале грунта западнее маяка Толбухин, где также наблюдалось увеличение содержания взвешенных веществ в водной толще [121].

2.4.3. Уязвимые компоненты экосистемы района строительства аванпорта «Бронка»

Юго-западная часть Невской губы, в том числе район строительства аванпорта «Бронка», с 1970-х гг. находилась в зоне значительного антропогенного воздействия, связанного со значительным ростом населения в г. Ломоносов и поступлением неочищенных стоков, в период с 1976-го до 2011 г. – ввиду недостаточной очистки, в первую очередь от лабильного органического вещества. В это же время возросла проблема эвтрофикации. Строительство КЗС, начавшееся в 1979–2010 гг., изменило систему течений, что привело к дополнительному воздействию на уже нарушенную среду [13]. Таким образом, район строительства аванпорта «Бронка» уже до начала строительства относился к эвтрофному району. Строительство аванпорта в 2011–2017 гг. явилось причиной дополнительного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Уязвимыми компонентами экосистемы района строительства аванпорта «Бронка» являются фито- и зоопланктон, макрофиты, мейо- и макробентос, рыбы и рыбообразные и гидрофильные птицы. При этом наиболее уязвимыми среди них к гидротехническим работам являются бентосные сообщества, заросли макрофитов, икра и молодь рыб [121].

Заросли макрофитов, формирующие плавни, являются ценным биотопом для водоплавающих и околоводных птиц. Высокой видовой разнообразие орнитофауны вблизи строительства аванпорта «Бронка» связано с главным миграционным путем птиц. Так, в 2013–2015 гг. отмечалось до 170 видов птиц, пролетающих над территорией строящегося порта [16].

Обобщение к главе 2

Из изложенного в главе 2 материала следует, что Невская губа является уникальным водным объектом, трансформированным из естественной в природно-техническую систему в результате урбанизации и техносферного преобразования, завершившегося окончанием строительства КЗС, изменившим физические, химические и биологические балансы геосистемы.

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.

Наибольшее трансформирующее воздействие в ПЗ Невской губы оказывают гидротехнические проекты и связанные с ними работы, в результате которых происходит преобразование геосистемы.

Наибольшее стрессовое воздействие на Невскую губу в 2010-х гг. XXI в. оказало строительство аванпорта «Бронка».

Наиболее уязвимыми компонентами экосистемы ПЗ Невской губы являются макрофиты, бентос, икра и молодь рыб.

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 методика оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне (ОГСПЗ) на основе комплексно-индикаторного подхода. Под *ОГСПЗ* понимается оценка комплексного антропогенного воздействия на ПЗ, включающая в себя стрессовые и компенсаторные воздействия на окружающую среду для пространственной единицы, элемента урбанизации или ПТС. В настоящей работе под *комплексно-индикаторным подходом* понимается совокупность принципов и методов геоэкологического и индикаторного подходов, используемых для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне.

Настоящая оценка предложена для уровня пространственного компонента ПТС, представленного приморским локальным муниципалитетом (ПЛМ) и прилегающей акватории, и вкладом отдельного компонента стрессового воздействия – аванпортом «Бронка». Параметры для оценки геоэкологической ситуации в ПЛМ и прилегающей акватории были выбраны по результатам проведенных лабораторных исследований по оценке состояния биологических сообществ в районе проведения гидротехнических работ.

Под *приморским локальным муниципалитетом* (ПЛМ) понимается муниципальное образование, хотя бы одной своей границей контактирующее с морем или любой его составляющей единицей – заливом, проливом, губой и т.п. ПЛМ включает в себя один или несколько населенных пунктов, с относительно крупным центром и меньшими по размеру и численности соподчиненными населенными пунктами.

Под *приморским районом* (ПР) понимается административно-территориальная единица второго порядка в Российской Федерации, хотя бы одной своей границей контактирующая с морем или любой его составляющей единицей, с однородными географическими условиями и расположенными в пределах ее территории населенными пунктами. ПЛМ входят в состав ПР.

В настоящей работе ПЛМ соответствует урбанизированной территории либо крупному поселению, который является частью более крупного городского образования. Таким образом, ПЛМ является единицей урбанизации и отдельным элементом в геосистеме ПЗ.

ПЛМ рассматривается как совокупность наземной части – непосредственно ПЛМ – и прилегающей акватории, граница которой ввиду малых размеров Невской губы, проводится равноудалено от каждого субъекта. Для оценки геоэкологической ситуации в водной части прибрежной зоны ПЛМ, воздействие оценивается в зависимости от близости расположения водных транспортных путей к границе берега ПЛМ.

Аванпорт, как элемент техногенеза Невской губы, был выбран согласно следующим критериям:

- физическая привязка к одному конкретному ПЛМ;
- объект может оказывать воздействие на соседние ПЛМ в ходе его реализации;
- возможность оценить воздействия на геосистему соседних ПЛМ;
- объект, создание и функционирование которого имел значительное воздействие на геосистему в ПЗ Невской губы в 2010-х гг. и привел к трансформации существующей геосистемы.

ОГСПЗ основана на комплексно-индикаторном подходе, включающем в себя следующие компоненты:

- биотические (биологические);
- абиотические (физические и химические параметры водной толщи и донных отложений);
- антропогенные (изменение рельефа, перенос вещества в результате антропогенной деятельности);
- социально-экономические (социальные и экономические аспекты развития ПЗ).

Ниже приводится теоретическое обоснование разработки комплексно-индикаторной методики, включающей в себя материалы и методы проведения расчетов индикаторов и индексов и лабораторных экспериментов, а также данные для выполнения расчетов.

3.1. Исходные данные к объектам исследования в Невской губе: приморские локальные муниципалитеты Санкт-Петербурга и аванпорт «Бронка»

Объектом исследования является ПЗ Невской губы. Для объекта предложено следующее деление:

- в наземной части рассмотрены ПЛМ с численностью населения менее 100 тыс. человек, с наличием свободной естественной территории для развития;
- на стыке водной и наземно-воздушной среды рассмотрен аванпорт «Бронка», имеющий принадлежность к одному ПЛМ без деления на составные части, технически расположенный в обеих средах и является основным стрессовым фактором трансформации ПЗ;
- сопутствующая морская инфраструктура для осуществления и поддержания деятельности порта расположена в водной среде ПЗ, оказывая наибольшее воздействие на нее.

3.1.1. Приморские локальные муниципалитеты Санкт-Петербурга с численностью менее 100 тысяч человек

К ПЛМ Невской губы, численность в которых не превышает 100 тыс. человек относятся только шесть, входящие в состав трех ПР Санкт-Петербурга (рисунок 3.1). Для сравнения индикаторов и индексов ОГСПЗ в расчет были добавлены ПЛМ Санкт-Петербурга, расположенные в восточной части Финского залива, имеющие численность населения до 100 тыс. человек и различающиеся по видам антропогенной деятельности между ними. Индикаторы состояния были рассчитаны для 15 ПЛМ.

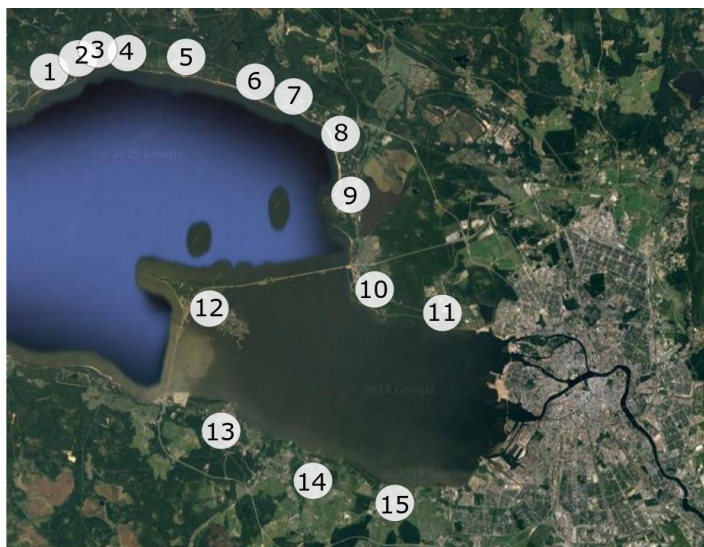


Рисунок 3.1 – Схема расположения ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения ниже 100 тыс. человек. За пределами Невской губы ПЛМ: ПР Курортный: 1 – Смолячково; 2 – Молодежное; 3 – Серово; 4 – Ушково; 5 – Зеленогорск; 6 – Комарово; 7 – Репино; 8 – Солнечное; 9 – Сестрорецк; В пределах Невской губы ПЛМ: ПР Приморский: 10 – Лисий Нос; 11 – МО Лахта-Ольгино; ПР Кронштадтский: 12 – Кронштадт; ПР Приморский: 13 – Ломоносов; 14 – Петергоф; 15 – Стрельна

Исходными данными для расчетов индикаторов и индексов послужила официальная статистическая информация, находящаяся в открытом доступе, по ПР и ПЛМ из следующих источников:

- официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [132];
- официальный сайт Управления Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области [94];
- ежегодники «Состояние окружающей среды в Санкт-Петербурге» [115, 122–124];
- ежегодники «Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге» [37–41];
- официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Администрация морских портов Балтийского моря» [95];

- официальный сайт информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России» [88].

3.1.2. Аванпорт «Бронка»

Аванпорт «Бронка» стал самым крупным гидротехническим проектом в ПЗ Невской губы в 2010-х гг., оказав стрессовое воздействие геосистему в период строительства объекта. В результате строительства аванпорта в районе Ломоносовской отмели (рисунок 3.2) ПЗ Невской губы претерпела изменение береговой линии, рельефа дна, перемещение значительных объемов грунтовых масс и воздействия на биоту.

Проведение гидротехнических работ по созданию аванпорта «Бронка» происходило в три этапа: создание намывной территории строящегося портового комплекса, первая (МК-1) и вторая (МК-2) очереди создания и углубления подходного и технического каналов, создания разворотной акватории.

Для намыва территории порта использовался песок со дна Ломоносовской отмели и из месторождения песка у острова Сескар (рисунок 3.2)



Рисунок 3.2 – Схема расположения основных элементов при строительстве аванпорта «Бронка»: 1 – Невская губа; 2 – Ломоносовская отмель; 3 – месторождение песка о. Сескар

В процессе проведения гидротехнических работ грунт, изъятый со дна акватории и неиспользуемый при намыве тела портового комплекса, размещался в подводном отвале грунта западнее маяка Толбухин (рисунок 3.3).

Исходными данными для расчета индикаторов и индексов послужили данные проектной документации:

- «Большой порт Санкт-Петербург». Многофункциональный морской перегрузочный комплекс «Бронка» [11];
- реконструкция Санкт-Петербургского морского канала (Работа 1). Подходной канал к многофункциональному морскому перегрузочному комплексу «Бронка».

Акватория многофункционального морского перегрузочного комплекса «Бронка» (1-я очередь) [109];

- реконструкция Санкт-Петербургского морского канала (Работа 1). Подходной канал к многофункциональному морскому перегрузочному комплексу «Бронка». Акватория многофункционального морского перегрузочного комплекса «Бронка» (2-я очередь) [110].

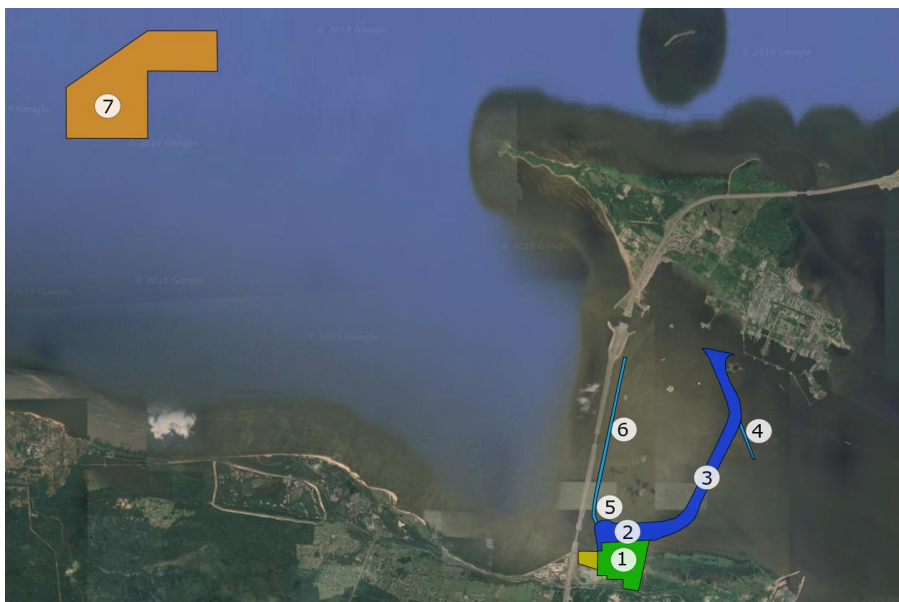


Рисунок 3.3 – Схема расположения основных элементов аванпорта «Бронка»: 1 – ММПК «Бронка»; 2 – акватория ММПК «Бронка»; 3 – подходной канал к ММПК «Бронка»; 4 – технологический канал к створным знакам; 5 – технологический канал до западной до западной границы акватории ММПК «Бронка»; 6 – «Бронка канал»; 7 – подводный отвал в районе западнее маяка Толбухин

3.2. Теоретическая основа к методике оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне

Индикаторные и индексные системы, используемые для ОГСПЗ, относятся к различным пространственным уровням рассмотрения. Сопоставление значение индикаторов и индексов во временном промежутке используется для оценки геоэкологической ситуации и прогнозирования возможных последствий текущей деятельности. Параметры и процедура построения набора индикаторов и индексов для решения поставленной задачи определены исходя из следующих принципов, разработанных на основе литературного обзора, например [5, 28, 189], и дополнены автором настоящей работы:

- наличие необходимого объема данных, пространственных и временных рядов, из официальных открытых источников;

- научная обоснованность и логическая связанность параметров индикатора;
- возможность сравнения различных районов одного пространственного уровня в различные временные промежутки;
- возможность реагировать на изменения значений параметров, формирующих индикаторы;
- уникальность каждого отдельного индикатора и отсутствие дублирования другим индикатором при ином выражении;
- понятность значения и смысла индикаторов ЛПР и заинтересованных природопользователей;
- отражение реальной картины геоэкологической ситуации в ПЗ и возможность использования индикаторов для территориального и акваториального районирования;
- нормированность (стандартизированность), «безразмерность» индикатора, простота и удобство его расчета;
- объединение индикаторов в индексы, характеризующие различные параметры среды и / или виды воздействий.

На основе изложенных принципов был выбран методологический подход к расчетам индексов и индикаторов. Индикаторы рассчитывались в три этапа:

- расчет нормированного значения индикатора;
- ранжирование и классификация рассчитанных значений;
- районирование и / или оценка геоэкологической ситуации ПЗ.

Для расчета индикаторов использовались два метода нормализации, в зависимости от особенностей индикатора.

1. Отклонение значения параметра, лежащего в основе индикатора, от экстремальных значений для функции оценивалось по формуле (3.1) [25, 215]:

$$I_i = \frac{x_i - \min_x}{\max_x - \min_x}, \quad (3.1)$$

где I_i – значение i -го индикатора;

x_i – значение i -го параметра;

$\min_x$ – максимальное значение параметра x_i за весь период изучения;

$\max_x$ – минимальное значение параметра x_i за весь период изучения.

2. Степень приближенности значения параметра к максимальной величине определялась по формуле (3.2) [25]:

$$I_i = \frac{x_i}{\max x}. \quad (3.2)$$

Для расчета индексов применен метод расчета арифметического среднего без использования весовых коэффициентов, исходя из допущения, что каждый индикатор вносит равный вклад в процесс формирования геоэкологической ситуации.

Корреляционная зависимость рассчитывается между индикаторами для проверки на дублирование информации и, при необходимости, – для исключения зависимостей, повторно описывающих один и тот же процесс. В случае, если несколько разных индикаторов из одной категории для расчета индекса имеют одинаковый тренд, то лишние индикаторы исключаются из индекса, в соответствии с рекомендациями [187]. Корреляционная зависимость между индексами рассчитывается для оценки правильности разделения индикаторов по категориям положительного и отрицательного воздействия на геоэкологическую ситуацию. Корреляционный анализ выполняется в соответствии с правилами, изложенными в [21, 66]. Коэффициент корреляции между рядами данных рассчитывался по формуле (3.3):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}, \quad (3.3)$$

где x_i – значение i -го элемента ряда x ;
 $\bar{x}$ – среднее значение ряда x ;
 y_i – значение i -го элемента ряда y ;
 $\bar{y}$ – среднее значение ряда y ;
 n – объем выборки;
 σ_x – среднее квадратическое отклонение ряда x ;
 σ_y – среднее квадратическое отклонение ряда y .

Коэффициент корреляции принимает значения в диапазоне от «-1» до «+1», где «-1» – абсолютная отрицательная связь, ряды имеют противоположную динамику; «+1» – абсолютная положительная связь, ряды имеют одинаковую динамику.

3.3. Методологические подходы к разработке комплексно-индикаторного подхода и методики оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне

При разработке методики по ОГСПЗ были использованы допущения, обоснованные автором в ходе предыдущих исследований [27]:

- значение индикатора или индекса находится в диапазоне от «-1» до «+1»;

- каждый компонент вносит равный вклад в формирование индикатора или индекса, поэтому весовые коэффициенты не используются.

Совокупность разработанных автором индикаторов и индексов ОГСПЗ подразделяется на следующие виды:

- физического и химического воздействия;
- воздействия на биологические компоненты экосистемы;
- текущего социо-экономико-экологического состояния ПЛМ.

Разработанный комплексно-индикаторный подход для ОГСПЗ состоит из следующих индикаторов и индексов:

- 6 индикаторов оценки общего социо-экономико-экологического состояния ПЛМ, из которых формируется 2 промежуточных и 1 общий индекс;
- 13 индикаторов покомпонентного физического, химического и биологического воздействия, включая 3 индекса воздействия на химические и биологические компоненты, на основе которых рассчитывается 1 общий индекс ОГСПЗ от элемента техногенеза, в настоящей работе от проведения гидротехнических работ.

Классификация покомпонентного и общего влияния индикаторов и индексов на геоэкологическую ситуацию ПЗ основана на авторском принципе выделения пяти классов качества, согласно следующей градации (таблица 3.1) [180, 198].

3.4. Комплексно-индикаторная методика к оценке геоэкологической ситуации в прибрежной зоне для приморских локальных муниципалитетов

Настоящая часть комплексно-индикаторной методики ОГСПЗ разработана для ПЛМ с численностью населения до 100 тыс. человек, наличием сводной природной территории и включает прилегающую акваторию. Развитие указанного типа ПЛМ возможно на существующей территории и создание искусственной территории не является обязательным для продолжения его развития.

В настоящей работе антропогенная деятельность с точки зрения воздействия на окружающую среду разделена на два блока:

- нарушение природной среды;
- мероприятия, направленные на частичную компенсацию негативного воздействия на окружающую среду или ее сохранение.

Таким образом, сформированы два индекса, которые обобщают индикаторы по признаку давления на окружающую среду и индикаторы компенсации окружающей среде от антропогенной деятельности (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Классификация состояния окружающей среды ПЗ для ОГСПЗ

Значение	Класс значения индикатора / индекса	Типы индексов и индикаторов		
		Антропогенное давление	Компенсаторные действия	Воздействие гидротехнических работ
[0,75; 1,00]	5	отсутствие или минимальное негативное воздействие	сильное положительное воздействие	отсутствие или негативное воздействие относительно небольшое
[0,25; 0,75)	4	низкое негативное воздействие	значительное положительное воздействие	в пределах предельно допустимого уровня негативного воздействия
[-0,25; 0,25)	3	умеренное негативное воздействие	умеренное положительное воздействие	максимально допустимое воздействия или воздействие равно естественной годовой продуктивности
[-0,75; -0,25)	2	значительное негативное воздействие	низкое положительное воздействие	воздействие превышает предельно допустимый уровень, но ниже значительного
[-1,00; -0,75)	1	сильное негативное воздействие	отсутствие или минимальное положительное воздействие	значительное негативное воздействие

Таблица 3.2 – Система индикаторов и индексов социально-экономической и экологической компоненты ОГСПЗ ПЛМ и прилегающей акватории

Название индекса, буквенное обозначение	Индикатор/индекс	Буквенное обозначение
Индекс негативного воздействия на окружающую среду, I_{NP}	Индикатор относительной плотности распределения предприятий	I_{ED}
	Индикатор выбросов в атмосферу	I_{EA}
	Индикатор плотности населения в прибрежной зоне	I_{PD}
	Индикатор морской инфраструктуры	I_{MI}
Индекс компенсаторных мероприятий, I_{COM}	Индикатор расходов на охрану окружающей среды	I_{PC}
	Индикатор охраняемых территорий	I_{PA}
Индекс экологической уязвимости прибрежной зоны, I_S	Индекс негативного воздействия на окружающую среду	I_S
	Индекс компенсаторных мероприятий	

Индекс негативного воздействия на окружающую среду (давления) включает в себя индикаторы, отображающие развитие антропогенной деятельности, которая прямо или косвенно ведет к ухудшению качества окружающей среды в ПЗ.

Индекс компенсаторных мероприятий включает в себя индикаторы, характеризующие деятельность человека, направленную на компенсацию негативного воздействия или охрану окружающей среды.

Интегральный индекс сформирован средней арифметической суммой индексов отрицательного и положительного воздействия на окружающую среду, формируя общее представление об ОГСФЗ в ПЛМ и прилегающей акватории с позиции социо-эконом-экологической составляющей (антропогенной деятельности).

При расчете индикаторов и индексов используются социальные (численность населения), экономические (затраты, доход) и экологические (выбросы в атмосферу, площадь ООПТ и др.) показатели. Разработанная система индикаторов позволяет сравнивать между собой ПЛМ различных ПР вне зависимости от площади объектов оценки.

3.4.1. Группа индекса негативного воздействия на окружающую среду

Индикатор относительной плотности распределения предприятий

Цель введения данного индикатора заключается в оценке относительной плотности распределения предприятий, с дополнительным учетом предприятий, имеющих стационарные источники выбросов в атмосферу, в ПЛМ к ПР.

Увеличение плотности предприятий на единицу площади, при наличии предприятий со стационарными источниками загрязнения, способствует увеличению антропогенного давления на окружающую среду. С увеличением плотности предприятий в ПЛМ по отношению к количеству предприятий, включая предприятия со стационарными источниками загрязнения, в ПР нагрузка на ПЗ увеличивается.

Расчет значений индикатора осуществляется в соответствии с формулой (3.4):

$$I_{ED} = 1 - \frac{(E_{LM} + ESP_{LM}) / S_{LM}}{(E_{RM} + ESP_{RM}) / S_{RM}}, \quad (3.4)$$

где I_{ED} – индикатор относительной плотности распределения предприятий, безразмерный;

ESP_{RM} – количество предприятий со стационарными источниками загрязнения атмосферы в ПР, шт.;

ESP_{LM} – количество предприятий со стационарными источниками загрязнений атмосферы в ПЛМ, шт.;

- E_{RM} – общее количество предприятий в ПР, шт.;
 E_{LM} – общее количество предприятий в ПЛМ, шт.;
 S_{LM} – общая площадь ПЛМ, км²;
 S_{RM} – общая площадь ПР, км².

В случае, если отношение в формуле (3.4) больше 2, то согласно принятым допущениям предполагается, что индикатор принимает значение «-1».

При наличии информации по количеству предприятий, относящихся к различному типу производства и услуг, целесообразно учитывать только промышленную и производственную сферу. В этом случае слагаемые ESP_{LM} и ESP_{RM} не учитываются, ввиду исключения непроизводственной сферы.

Индикатор выбросов в атмосферу

Цель введения индикатора заключается в оценке относительного воздействия предприятий на состояние окружающей среды через определение соотношения стоимости объема выбросов загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения, к доходам.

Увеличение количества выбросов в результате работы предприятий увеличивает нагрузку на прибрежную геосистему. Введение значений доходов позволяет оценить стоимость загрязнения, его опасность и наличие возможного объема средств, необходимого для компенсации негативного воздействия на окружающую среду. Соотношение объемов выбросов и доходов ПЛМ к ПР определяет относительное антропогенное давление на ПЗ.

Расчет значений индикатора осуществляется в соответствии с формулой (3.5) [27]:

$$I_{EA} = 1 - \frac{EA_{LM}/R_{LM}}{EA_{RM}/R_{RM}}, \quad (3.5)$$

- где I_{EA} – индикатор выбросов в атмосферу, безразмерный;
 EA_{RM} – объем выбросов в атмосферу от всех предприятий ПР, тыс. т;
 EA_{LM} – объем выбросов в атмосферу от всех предприятий ПЛМ, тыс. т;
 R_{RM} – доходы ПР, тыс. руб;
 R_{LM} – доходы ПЛМ, тыс. руб.

В случае, если отношение в формуле (3.5) больше 2, то согласно принятым допущениям предполагается, что индикатор принимает значение «-1».

Индикатор плотности населения в прибрежной зоне

Цель введения данного индикатора заключается в оценке относительной плотности населения ПЛМ, который является одним из ключевых показателей негативного воздействия на геосистему ПЗ.

Плотность населения используется в различных исследованиях по оценке уязвимости и чувствительности окружающей среды [163, 242]. Увеличение плотности населения в ПЗ способствует росту антропогенного давления на окружающую среду.

Отношение между плотностью населения в ПЗ к такому же отношению в ПР определяет относительную заселенность и дает возможность сравнивать значения индикатора между объектами ПЗ вне зависимости от их площади.

Расчет значений индикатора осуществляется в соответствии с формулой (3.6) [27]:

$$I_{PD} = 1 - \frac{I_{LM}/S_{LM}}{I_{RM}/S_{RM}}, \quad (3.6)$$

где I_{PD} – индикатор плотности населения в прибрежной зоне, безразмерный;
 I_{RM} – количество жителей в ПР, чел./км²;
 I_{LM} – количество жителей в ПЛМ, чел./км².

В случае, если отношение в формуле (3.6) больше 2, то согласно принятым допущениям предполагается, что индикатор принимает значение «-1».

Индикатор морской инфраструктуры

Цель введения данного индикатора заключается в оценке относительного воздействия морского судоходства и портовой деятельности, выраженной через грузооборот портовых комплексов и морских терминалов, на прибрежную зону ПЛМ.

Судоходство и портовая деятельность оказывают прямое и косвенное воздействие на качество окружающей среды. Увеличение интенсивности морской деятельности ведет к увеличению антропогенного давления на ПЗ. В пределах ПЛМ, входящих в состав одного ПР, удаленность фарватера, подходов каналов и траектории движения судов могут различаться относительно береговой линии. Портовые комплексы и морские терминалы расположены в некоторых ПЛМ, что обосновано функциональной необходимостью, увеличивая антропогенную нагрузку на окружающую среду.

На основе авторской разработки [27] значение индикатора складывается из двух параметров:

- отношение значения общего трафика судовых грузоперевозок, проходящего в ПЗ ПЛМ, выраженного через общий грузооборот следующих через ПЗ грузов;
- отношение значения общего грузооборота порта или морских терминалов, размещенных в ПЗ ПЛМ.

Расчет значений индикатора осуществляется в соответствии с формулой (3.7):

$$I_{MI} = 1 - \left(\frac{FT_{LM}}{FT_{max}} + \frac{CT_{LM}}{CT_{max}} \right), \quad (3.7)$$

- где I_{MI} – индикатор морской инфраструктуры, безразмерный;
- FT_{max} – максимальное значение общего трафика судовых грузоперевозок, проходящих в прибрежной зоне ПР, тыс. т;
- FT_{LM} – значение общего трафика судовых грузоперевозок, проходящих в прибрежной зоне ПЛМ, тыс. т;
- CT_{max} – максимальное значение суммарного грузооборота всех портов, расположенных в ПР, тыс. т;
- CT_{LM} – значение общего грузооборота портов размещенных в ПЛМ, тыс. т.

В случае, если отношение в формуле (3.7) больше 2, то согласно принятому предположению индикатор принимает значение «-1».

Индекс негативного воздействия «давления» на окружающую среду

Индекс негативного воздействия «давления» на окружающую среду показывает усредненное влияние антропогенной деятельности в ПЛМ на ПЗ. Индекс рассчитывается как среднее арифметическое значение индикаторов, которые приводят к ухудшению качества окружающей среды и способствуют увеличению уязвимости ПЛМ к дополнительному антропогенному воздействию, и рассчитывается по формуле (3.8) [198]:

$$I_{NP} = \frac{I_E + I_{PD} + I_{EA} + I_{MI}}{4}, \quad (3.8)$$

- где I_{NP} – индекс негативного воздействия «давления» на окружающую среду, безразмерный.

Индекс негативного воздействия «давления» на окружающую среду принимает значения в пределах от «-1» до «1», где значение «-1» соответствует сильному негативному воздействию на окружающую среду ПЛМ. Значение «1» соответствует минимальному антропогенному воздействию на качество окружающей среды в ПЛМ и ПЗ.

3.4.2. Группа индекса компенсаторных мероприятий

Индикатор расходов на охрану окружающей среды

Цель введения данного индикатора заключается в оценке относительной доли затрат на охрану окружающей среды к полученным доходам ПЛМ.

Расходы на охрану окружающей среды используются для поддержания или компенсации негативного воздействия на окружающую среду, например, посредством высадки деревьев,

выпуска молоди рыб, на природоохранные мероприятия, включая поддержание ООПТ и другие.

Индикатор рассчитывается как отношение расходов, выделенных на защиту окружающей среды, к доходу ПЛМ, к такому же соотношению в ПР.

Расчет значений индикатора осуществляется в соответствии с формулой (3.9) [27]:

$$I_{PC} = \frac{EPC_{LM}/R_{LM}}{EPC_{RM}/R_{RM}} - 1, \quad (3.9)$$

где I_{PC} – индикатор расходов на охрану окружающей среды, безразмерный;

EPC_{RM} – стоимость затрат выделенных на защиту окружающей среды в ПР, тыс. руб;

EPC_{LM} – стоимость затрат выделенных на защиту окружающей среды ПЛМ, тыс. руб.

В случае, если соотношение в формуле (3.9) больше, чем 2, то в соответствии с принятыми предположениями, индикатор принимает значение «1».

Индикатор охраняемых природных территорий

Цель введения данного индикатора заключается в определении относительной доли особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в ПЛМ к ПР.

Особо охраняемые природные территории и акватории необходимы для сохранения различных экосистем, памятников природы, сохранения ценных местообитаний различных видов организмов, включая места нереста и нагула рыбы, гнездования птиц и их стоянок и т.д.

Индикатор определяется как отношение площади ООПТ в пределах ПЛМ к общей площади ПЛМ к такому же соотношению в ПР, что позволяет получить относительное значение обеспеченности ООПТ в ПЗ.

Расчет значений индикатора осуществляется в соответствии с формулой (3.10) [27]:

$$I_{PA} = \frac{PA_{LM}/S_{LM}}{PA_{RM}/S_{RM}} - 1, \quad (3.10)$$

где I_{PA} – индикатор охраняемых природных территорий, безразмерный;

PA_{RM} – значение охраняемых земель в ПР, км²;

PA_{LM} – значение охраняемых земель в ПЛМ, км².

В случае, если отношение в формуле (3.10) больше 2, то согласно принятым допущениям предполагается, что индикатор принимает значение «1».

Индекс компенсаторных мероприятий

Индекс компенсаторных мероприятий включает в себя мероприятия, имеющие положительный вклад в компенсацию и поддержание качества окружающей среды в ПЛМ.

Учитываемые меры позволяют уменьшить негативное воздействие от производимой антропогенной деятельности в ПЛМ.

Индекс состоит из суммы двух индикаторов [198], расчет производится согласно формуле (3.11):

$$I_{COM} = \frac{I_{PC} + I_{PA}}{2}, \quad (3.11)$$

где I_{COM} – индекс компенсаторных мероприятий, безразмерный.

Индекс компенсаторных мероприятий принимает значения в пределах от «-1» до «1», где значение «-1» соответствует отсутствию или незначительным компенсаторным действиям, которые многократно ниже в ПЛМ относительно ПР. Значение «1» отображает высокий уровень компенсаторных мер в ПЛМ относительно ПР.

Индекс экологической уязвимости прибрежной зоны

Индекс экологической уязвимости ПЗ показывает общее состояние прибрежной зоны ПЛМ, с учетом антропогенного воздействия и принимаемых компенсаторных мер. Индекс рассчитывается как среднее арифметическое между индексами негативного воздействия на окружающую среду и компенсаторных мероприятий по формуле (3.12).

$$I_S = \frac{I_{NP} + I_{COM}}{2}, \quad (3.12)$$

где I_S – индекс экологической уязвимости прибрежной зоны, безразмерный.

Значения индекса находятся в диапазоне от «-1» до «1», где «-1» – высокая чувствительность окружающей среды, требующая снижения антропогенного воздействия, «1» – среда стабильна.

3.5. Комплексно-индикаторный подход к оценке геоэкологической ситуации в прибрежной зоне к воздействию гидротехнических работ

Для ОГСПЗ была разработана авторская методика на основе комплексно-индикаторного подхода, состоящая из комплекса индикаторов и индексов, для оценки воздействия гидротехнических работ на ПЗ. Выбор системы индексов и индикаторов опирается на данные, полученные в ходе выполнения лабораторных экспериментов по оценке уязвимости геосистемы ПЗ, участия автора в полевых мониторинговых работах по оценке состояния окружающей среды по окончании гидротехнических работ, а также по результатам литературного обзора.

Для оценки уязвимости донных сообществ – макрозообентоса и макрофитов – к проведению гидротехнических работ была разработана авторская методика проведения серий лабораторных экспериментов.

Методология и краткое описание проведения серий лабораторных экспериментов по оценке уязвимости компонентов экосистемы к гидротехническим работам приводится ниже.

3.5.1. Методика лабораторных исследований по оценке уязвимости биоты к гидротехническим работам

Оценка уязвимости донных макрофитов и макрозообентосных сообществ к воздействию стрессовых факторов от проведения гидротехнических работ проведена эмпирически в лаборатории отделения городского строительства и прикладной экологии Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Эксперимент проводился на оригинальных грунтах, извлеченных со дна восточной части Финского залива и Невской губы во время проведения мониторинговых работ по оценке влияния гидротехнических работ на окружающую среду, а также мониторинга ПЗ Курортного района Санкт-Петербурга. Настоящий эксперимент проведен для установления степени уязвимости компонентов бентосных сообществ, распространенных в Невской губе, к перекрытию (засыпанию) сбрасываемым грунтом и для определения возможности преодоления гидробионтами слоя грунта, насыпаемого с различной периодичностью (таблица 3.3).

Все лабораторные эксперименты проводились в светлое время суток, что соответствует нормативному времени проведения гидротехнических работ ввиду значительного уровня шума, издаваемого земснарядами.

Лабораторные исследования по определению уязвимости личинок комара-звонца опушенного или мотыля *Chironomus plumosus* к перекрытию донным грунтом

Комар-звонец опушенный, или мотыль *Chironomus plumosus* – типичный представитель макрозообентоса восточной части Финского залива и Невской губы, в том числе в районе строительства аванпорта «Бронка» [121]. Для определения уязвимости вида *Ch. plumosus* использовались природные грунты восточной части Финского залива, Невской губы и реки Охты, впадающей в реку Нева. *Ch. plumosus* представляет собой личинку комара-звонца, в обиходной речи называемой мотылем. Личинки комара-звонца чаще всего имеют красный цвет. Развитие личинок происходит на дне пресноводного водного объекта в трубчатых тоннелях, прорытых в донном грунте или детрите [166]. Личинки развиваются при температуре от +5 °С, тип питания организмов – фильтрационный. Личинки комаров являются кормом для большого количества видов рыб [193].

Таблица 3.3 – Условия и исходные данные проведения лабораторных экспериментов по определению уязвимости компонентов макрофитов и макрозообентосных сообществ к перекрытию грунтом и увеличенной мутности

№ серии	Тип грунта	Категория грунта	Продолжительность эксперимента, дни	Количество см грунта за 1 раз, см	Сколько раз в день, шт	Продолжительность между засыпками, ч	Всего количество см за эксперимент	Начальное количество мотыля, шт
1	Песок	Чистый	1	1	3	3	3	10
2	Песок	Чистый	1	2	3	4	6	10
3	Пылеватая супесь+глина	Токсичный*	1	1	2	3	2	40
4	Пылеватая супесь+глина 65/34%	Слабозагрязненный (нефтепродукты, медь, кадмий)	1	2	2	3	4	20
5	Пылеватая супесь+глина	Токсичный*	3	2	1	24	4	10
6	Пылеватая супесь+глина 62/36%	Слабозагрязненный (нефтепродукты, кадмий)	3	2	1	24	4	10
7	Пылеватая супесь+глина 86/7,5%**	Слабозагрязненный (нефтепродукты)	3	2	1	24	4	10
8	Пылеватая супесь+глина 51/4%	Чистый	3	2	1	24	4	10
Примечание. *Для токсичного грунта определение соотношение фракций гранулометрического состава не определялось; ** данный тип грунт использовался для проведения лабораторных экспериментов с макрофитами								

Методика проведения лабораторных экспериментов с *Chironomus plumosus*

Набор серий продолжительностью 1 день

В основу эксперимента положено предположение о том, что биологическое сообщество расположено на некотором удалении от проводимых гидротехнических работ (намыв грунта и/или сброс грунта в отвал) и попадает в зоны «расползания» грунта, повторного взмучивания грунта со дна водоема и в шлейф распространения мутности. В результате бентосное сообщество регулярно, с периодичностью в несколько часов, перекрывается слоем грунта, что соответствует графику перемещения грунта землеотвозными шаландами и образования и/или поддержания шлейфа мутности. Продолжительность проведения эксперимента – 1 день.

Эксперимент нацелен на оценку представителей бентосного сообщества преодолевать слой насыпаемого грунта (на примере личинок комара *Ch. plumosus*) при точечном воздействии перекрытия грунтом при проведении гидротехнических работ для разных категорий грунтов по гранулометрическому и химическому составу. Оборудование и методика проведения эксперимента приводится в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Методика проведения эксперимента с *Ch. plumosus* для серий с различающимся объемом и продолжительностью засыпания донным грунтом

Продолжительность эксперимента		
	1 день	3 дня
Оборудование		
1.	Емкость объемом 1,8÷8,75 л	Пластиковые емкости объемом от 0,3 л
2.	Грунт с побережья Невской губы или ее дна, изъятый в ходе полевых работ в 2011 г. в Невской губе	
3.	Водопроводная вода, отстоянная в течение двух суток	
4.	Миллиметровка для разметки уровня на аквариуме/емкости	
5.	Личинки комара-звонца опушенного (мотыль) <i>Ch. plumosus</i>	
Методика эксперимента		
1.	При подготовке к проведению основной части эксперимента мотыль помещается в предварительно подготовленную емкость, в которую был засыпан грунт идентичного происхождения с тем, который используется в основной части эксперимента	
2.	Вода для грунта отстаивается в течение двух суток для предотвращения влияния хлора, содержащегося в водопроводной воде	
3.	В емкость добавляется вода, чтобы обеспечивалось перекрытие грунта не менее, чем 1 см	
4.	Весь имеющийся мотыль помещается в емкость для акклимации. Акклимация продолжается в течение 1,5 суток	
5.	Одновременно подготавливаются емкости для экспериментов	
5.1.	Для точного определения толщины засыпаемого грунта к емкости с наружной стороны наклеивается размеченная через 1 см линейка, выполненная на миллиметровой бумаге	
5.2.	В емкость засыпается песок/грунт таким образом, чтобы равномерно покрывать дно слоем толщиной 2–3 см	
5.3.	В зависимости от типа емкость наливается отстоявшаяся вода до отметки не менее чем плюс 2 см от края грунта и выдержано время до 80 % осаждения грунта, который был поднят со дна емкости в результате заполнения ее водой	
6.	В день начала эксперимента в аквариум высаживаются здоровые особи <i>Ch. plumosus</i> в количестве не менее 10 особей	
7.	Подготовленный грунт засыпается согласно следующим условиям:	
7.1	Грунт перекрывает дно аквариума равномерно	
7.2	Толщина каждого перекрытия грунтом составляет:	
	Зависит от серии проведения эксперимента	2 см

Продолжение таблицы 3.4

Продолжительность эксперимента		
	1 день	3 дня
7.3	При засыпке грунта необходимо минимизировать турбулентность водяного потока, появляющуюся при засыпке одновременно большого объема грунта, и повторное взмучивание	
8.	В ведомости ведения эксперимента отмечается дата, время начала эксперимента, отсчитываемое от начала первой засыпки грунта, количество особей <i>Ch. plumosus</i> , посаженных в аквариум	
9.	Подсчет особей, оказавшихся на поверхности и/или полупогруженных в грунт, и проявляющих признаки жизнедеятельности (реакции шевеления, изгибания, зарывания в грунт и т.п.), происходит через следующие временные промежутки для каждой засыпки грунтом:	
	Каждый час. Окончательный подсчет – через несколько часов, согласно поставленной задаче	Каждый день на протяжении 3 дней в одно и то же самое время
10.	Количество особей, выбравшихся из перекрытого грунта, отмечается в журнале	
11.	Засыпка особей происходит после окончания очередного цикла засыпки и времени регистрации	
11.1	Через промежуток времени, определенный на этапе формирования цели эксперимента; добавочный слой грунта засыпается к уже имеющемуся грунту	На следующие сутки после начала эксперимента в емкость равномерно засыпается 2 см грунта к уже имеющемуся грунту
11.2	Условия засыпки повторным слоем соответствуют вышеуказанным	
11.3	Результаты подсчета фиксируются в журнале: дата, время, количество мотыля, проявляющего признаки жизнедеятельности (пункт 9 настоящей таблицы)	
12.	Продолжительность эксперимента:	
	Эксперимент продолжается до тех пор, пока грунт не будет засыпан в аквариум требуемое количество раз в течение дня и не будет проведена регистрация выживших особей	Эксперимент продолжается до тех пор, пока грунт не будет засыпан в аквариум 2 раза в течение 2-х дней (однократно каждый день) и не будет проведена окончательная регистрация выживших особей на третий день
13	Эксперимент имеет трехкратное повторение	

Набор серий продолжительностью 3 дня

В основу эксперимента положено предположение о том, что биологическое сообщество расположено на удалении от проводимых гидротехнических работ (намыв грунта и/или сброс грунта в отвал), попадая в зоны «расползание» грунта, шлейфа распространения мутности и повторного взмучивания грунта со дна водоема. В результате бентосное сообщество 1 раз в сутки перекрывается толщиной грунта в 2 см, в течение двух дней. На третий день эксперимента происходит только подсчет особей, выбравшихся на поверхность, либо ведущих

активный образ жизни на глубине до 0,5 см. Данный график соответствует перемещению грунта землеотвозными шаландами. Продолжительность проведения эксперимента составляет 3 дня. Данная серия позволяет качественно оценить способность выбираться на поверхность слоя насыпанного грунта представителей бентосного сообщества на примере *Ch. plumosus* при периодическом перекрывании грунтом, относящимся к различным категориям по гранулометрическому и химическому составу. Оборудование и методика проведения эксперимента приводится в таблице 3.4.

Лабораторные исследования по определению уязвимости сообществ макрофитов к воздействию дополнительной мутности

Объект испытаний: элодея канадская *Elodea canadensis*

Крупное донное растение-макрофит элодея канадская *Elodea canadensis*, или «водяная чума», является видом-вселенцем, впервые отмечена в ПЗ Приморского района Санкт-Петербурга в 1880-1881 гг. [8]. Распространение *E. canadensis* возможно при занесении вида в результате судоходства, а также путем естественного расселения фрагментами слоевища (таллома). Появление *E. canadensis* приводит к существенной перестройке прибрежной экосистемы. В Невской губе данный вид развивается на хорошо прогреваемых мелководьях [90]. Предпочитает мягкие илистые грунты, защищенные от постоянного ветрового взмучивания, и отсутствие сильного волноприбойного перемешивания дна. Живет при широком диапазоне температур, может выдерживать промерзание в лед. *E. canadensis* относительно устойчива к условиям низкой освещенности. Вид характеризуется хорошей приживаемостью и обладает высокой регенеративной способностью. При механическом повреждении *E. canadensis* способна давать большое количество боковых отростков, которые могут выживать даже при гибели растения-родителя. *E. canadensis* способна очищать воду, а также является местообитанием для водных беспозвоночных, рыб и амфибий, и пищевым ресурсом для некоторых видов водных птиц и млекопитающих (бобр, ондатра). Вид произрастает от мелководных до глубоководных зон, включая слабосоленые и подкисленные воды, при реакции среды pH 6,0–7,5 и температуре от 1 до 25 °C. Предпочитает мезотрофные воды [176].

Объект испытаний: роголистник погружённый *Ceratophyllum demersum*

Крупное донное растение-макрофит роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* является типичным представителем водорослей в восточной части Финского залива и Невской губе [77] и связан с увеличением антропогенного эвтрофирования [18]. Заросли роголистника играют важную роль в формировании нерестилищ, нерестово-выростных участков и нагульных областей ценных видов рыб – таких, как плотва, окунь, лещ, густера, уклея, колюшка трехиглая [51], а также формируют заросли, в которых кормятся некоторые

виды водно-болотной орнитофауны [59]. *C. demersum* произрастает в стоячих и медленно текущих водоемах средних широт на глубинах от 0,5 до 15,5 м, является светолюбивым растением. Является природным фильтратором воды, быстро покрывается осаждающимся взвешенным веществом. Предпочитает умеренно жесткую воду с нейтральной или слабощелочной реакцией среды (pH 6,2–7,5), несколько хуже произрастает в кислой мягкой воде. В зимний период рост замедляется, водоросль опускается на дно, сохраняя только верхушечные побеги [111].

Методика проведения лабораторных экспериментов с донными макрофитами

Лабораторный эксперимент по определению воздействия механической взвеси и мутности на прибрежную растительность – донные макроводоросли.

Оборудование:

- две емкости, каждая объемом 8 л;
- водопроводная вода, отстоянная в течение двух суток;
- природный донный грунт восточной части Финского залива или Невской губы;
- макрофиты Невской губы: роголистник темно-зеленый *C. demersum* и элодея канадская *E. canadensis*

Алгоритм эксперимента:

1. в каждую емкость засыпается грунт толщиной 3 см;
2. в каждую емкость добавляется отстоявшаяся вода (для исключения влияния хлора, используемого при водоподготовке) до высоты 10 см в каждой емкости. Объем воды – 3,5 л;
3. осаждение взмученного грунта в результате заполнения емкости водой. В настоящем эксперименте – в течение трех суток;
4. по окончании осаждения грунта, в настоящем эксперименте – в течение трех суток – в обе емкости высаживаются по три отростка роголистника темно-зеленого *C. demersum* и элодеи канадской *E. canadensis*;
5. ежедневно в емкость, где моделируются условия с повышенной мутностью, грунт взмучивается со дна, а также путем добавления в воду небольшого объема грунта в виде водогрунтовой смеси. В данном аквариуме это компенсирует потерю влаги в результате ее испарения;
6. ежедневно в емкость, где моделируются условия чистой воды, добавляется объем воды, для компенсации ее испарения;
7. емкости сверху не накрываются, чтобы не ухудшать воздухообмен с окружающей средой;

8. температура в лаборатории поддерживается на одинаковом уровне, в настоящем эксперименте температура воды не превышала 20 градусов Цельсия;
9. через 25 дней от начала проведения эксперимента водоросли изымаются из емкостей и замеряются при помощи измерительной ленты.

3.5.2. Комплексно-индикаторная методика для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне при проведении гидротехнических работ

Урбанизация и техногенез приводят к расширению антропогенной деятельности на границе водной и наземно-воздушной среды, оказывая дополнительное стрессовое воздействие. Оценка воздействия на геоэкологическую ситуацию в совокупности от элемента техногенеза на всех этапах его реализации может показать удельный вклад данного элемента на качество окружающей среды с учетом текущей ситуации в ПЛМ и прилегающей акватории. В настоящей части описана разработанная авторская методика ОГСПЗ для объектов ПТС, оказывающих наибольшее стрессовое воздействие на ПЗ Невской губы – проведение гидротехнических работ. Реализация данного вида работ оказывает стрессовое воздействие на геосистему ПЗ как в непосредственном месте их проведения, так и на прилегающих территориях и акваториях, усиливая уязвимость геосистемы к неблагоприятным факторам. Индикаторы и индексы ОГСПЗ для основного элемента техногенеза – гидротехнических работ – представлены в таблице 3.5.

В основе разработки комплексно-индикаторной методики ОГСПЗ лежит следующая информация:

- анализ литературных данных о наиболее уязвимых компонентах геосистемы при проведении гидротехнических работ;
- результаты оценки комплексного состояния ПЛМ с учетом факторов, влияющих на геоэкологическую ситуацию геосистемы;
- результаты участия в мониторинговых работах при проведении/по окончании производства гидротехнических работ в Невской губе и восточной части Финского залива;
- результаты проведения лабораторных исследования по выживаемости типичных представителей сообществ макрозообентоса и макрофитов Невской губы и восточной части Финского залива, как наиболее уязвимых компонентов геосистемы.

Индикатор временного загрязнения атмосферы

Цель введения индикатора заключается в оценке временного дополнительного загрязнения атмосферы при работе землечерпательной и вспомогательной техники при проведении гидротехнических работ в акватории.

Таблица 3.5 – Комплексно-индикаторная методика для ОГСПЗ от проведения гидротехнических работ

Название индекса	Индикатор или покомпонентный индекс		Буквенное обозначение
Индекс антропогенного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ, I_{APR}	Индикатор временного загрязнения атмосферы		I_{EAPC}
	Индикатор нарушенности береговой линии		I_{CL}
	Индикатор использования грунта		I_{UOS}
	Индикатор механического нарушения биотопов		I_{BD}
	Индикатор перекрытия донных биотопов		I_{BR}
	Индекс применимости грунтов по степени загрязнения	Индикатор относительной загрязненности грунта по i -му веществу, I_{SP_i}	I_{SP}
	Индикатор распространения шлейфа мутности		I_{TURB}
	Индекс относительного загрязнения воды	Индикатор относительного загрязнения воды i -м компонентом, I_{WP_i}	I_{WP}
	Индекс потери кормовых ресурсов	Индикатор нарушенности зарослей макрофитов, I_{MP}	I_{FS}
		Индикатор нарушенности бентосных сообществ, I_{LBC}	
		Индикатор нарушенности фитопланктона, $I_{PL_{PH}}$	
		Индикатор нарушенности зоопланктона, I_{PL_Z}	
	Индикатор потери рыбных ресурсов		I_{FL}

Загрязнение атмосферы от передвижной техники происходит во временном промежутке проведения работ и в локальной акватории. При сильных ветрах происходит рассеивание загрязняющих веществ на значительной площади пространства с меньшими концентрациями. Перераспределение веществ в пространстве при расчете индикатора не учитывается.

Значение индикатора рассчитывается как отношение между объемами суммарного выброса загрязняющих веществ в атмосферу от землечерпательной и вспомогательной техники при проведении гидротехнических работ к общему объему выбросов в атмосферу в ближайшем населенном пункте и/или ПЛМ. При расчете настоящего индикатора возможен учет стационарных и передвижных источников загрязнения, что может значительно повлиять на значение индикатора. Индикатор может рассчитываться для смежных ПЛМ и/или населенных пунктов, в случае если работы проводятся в акватории между двумя территориальными единицами.

Расчет значения индикатора выполняется по формулам (3.13–3.14):

$$I_{EAPC} = 1 - \frac{EA_{PCt}}{EA_{LMt}}, \quad (3.13)$$

$$EA_{LMt} = LM_{Et} + LM_{TRt}, \quad (3.14)$$

- где I_{EAPC} – индикатор временного загрязнения атмосферы, безразмерный;
- EA_{PCt} – количество выброшенных веществ в атмосферу от всей работающей техники при проведении гидротехнических работ за период время t , т/год или т/период;
- EA_{LMt} – количество выброшенных веществ в атмосферный воздух в прилегающем населенном пункте и/или ПЛМ за период время t , т/год или т/период;
- LM_{Et} – количество выброшенных веществ в атмосферный воздух в прилегающем населенном пункте и/или ПЛМ за период время t , отходящих от стационарных источников загрязнения, т/год или т/период;
- LM_{TRt} – количество выброшенных веществ в атмосферный воздух в прилегающем населенном пункте и/или ПЛМ за период время t , отходящих от передвижных источников загрязнения, т/год или т/период.

В случае, если количество выброшенных веществ приводится для ПР, объем выбросов, отходящих от передвижных источников загрязнения в ПЛМ, учитывается пропорционально численности населения в ПЛМ.

В случае, если выражение $\frac{EA_{PCt}}{EA_{LMt}}$ больше «2», значение индикатора принимается равным «-1», что соответствует более чем двукратному превышению количества выбросов в окружающую среду при проведении гидротехнических работ, относительно уровня выбрасываемых веществ в атмосферу в населенном пункте или ПЛМ.

Индикатор нарушенности береговой линии

Цель введения индикатора нарушенности береговой линии заключается в определении относительной доли изменения протяженности вновь созданной береговой линии к исходной в связи с проведением гидротехнических работ, таких как портостроительство или намыв берега.

Береговая линия и примыкающая мелководная зона являются важными компонентами геосистемы ПЗ, формируя мелководный биотоп. Данный биотоп используется компонентами экосистемы как место обитания, нереста, гнездования, нагула, питания и временных стоянок (для перелетных птиц), а также используется населением в рекреационных и иных целях. Изменение длины и формы береговой линии может приводить к полной перестройке экосистемы района ввиду разрушения существовавшего биотопа.

В процессе создания искусственной (намывной) территории протяженность и конфигурация береговой линии изменяются. Появляются новые (искусственные) биотопы в виде берегозащитных сооружений, портовых элементов и других. Однако вновь созданные конструкции, сооружения и объекты могут быть непригодны для развития и устойчивого функционирования экосистем.

Индикатор учитывает три компонента структуры имеющейся и вновь создаваемой береговой линии:

- длина исходной береговой линии;
- длина вновь образованной береговой линии, представленная основным телом намытой территории (в случае ММПК «Бронка» – длина образованных береговых линий портового комплекса);
- длина дополнительных конструкций – ограждающие молы, причальные стенки и т.п. (в случае ММПК «Бронка» – причальные стенки).

Последние два компонента могут быть использованы как новые биотопы в случае минимального загрязнения акватории при эксплуатации объекта, созданного в результате гидротехнических работ. Например, если порт имеет внутреннюю акваторию, защищенную от волнового воздействия оградительными сооружениями, то причальные стенки в расчете не учитываются ввиду возможного сильного загрязнения акватории в их пределах и снижения/невозможности их использования как новых биотопов.

Расчет значения индикатора выполняется по формуле (3.15):

$$I_{CL} = \frac{L_{LR} + L_{QW}}{L_{OR}} - 1, \quad (3.15)$$

- где I_{CL} – индикатор нарушенности береговой линии, безразмерный;
- L_{LR} – длина создаваемой береговой зоны, включая длину намытой зоны по границе вода-суша и внешние оградительные стенки портового сооружения, м;
- L_{QW} – длина причальных стенок внутри портового сооружения, м;
- L_{OR} – исходная длина береговой линии в пределах предполагаемых гидротехнических работ, связанных с намывом берега, или всей акватории географической единицы, м.

В случае отсутствия работ, приводящих к изменению береговой линии, индикатор приравнивается к «1». Если при строительстве объекта предусмотрено изменение формы береговой линии, но при этом общая длина береговой линии не изменяется, значение

индикатора равно «0». Если длина береговой линии уменьшается более, чем в 2 раза, индикатор принимает значение «-1».

Индикатор использования грунта

Цель введения индикатора заключается в оценке относительной доли изымаемого грунта, используемого для дальнейшего строительства или улучшения ПЗ (выравнивания подводного ландшафта в результате предыдущих антропогенных изменений, создания намывных территорий из грунта свойственного данной акватории и минимизации интродукции чужеродных видов и т.п.).

Грунт, изымаемый со дна водного объекта, в результате создания и/или углубления подходного канала, разворотного круга и другой необходимой инфраструктуры для судоходства, портовой и прочей морской деятельности, может быть использован для строительных целей или направлен в отвал. Использование грунта надлежащего качества для создания территории порта или другого функционального использования уменьшает объемы размещения грунта в отвале и увеличивает срок использования отвала до его полного заполнения. Кроме того, при наличии грунтов со дна водного объекта, удовлетворяющих требованиям для конкретного вида использования, нет необходимости к разработке наземных карьеров, что сохраняет наземные экосистемы и способствует рациональному использованию природных ресурсов.

Значение индикатора рассчитывается как отношение разности между объемами извлеченного грунта, используемого повторно, и грунта, направляемого в отвал, к общему объему извлекаемого грунта в процессе проведения гидротехнических работ.

Расчет значения индикатора выполняется по формуле (3.16):

$$I_{UOS} = \frac{V_{LR} - V_{SD}}{V_{DW}}, \quad (3.16)$$

где I_{UOS} – индикатор использования грунта, безразмерный;

V_{LR} – объем изъятых грунтов, повторно используемых для гидротехнических работ, намыва территории и т.п., включая грунт, временно размещенный в отвале, но планируемый повторно использовать для вышеуказанных целей, м³;

V_{SD} – объем грунта, направляемый в отвал без дальнейшего использования, м³;

V_{DW} – общий объем дноуглубительных работ, м³.

При увеличении доли изъятых грунтов, повторно используемых для намыва территории и иных работ, значение индикатора будет принимать значения, стремящиеся к «1». При

увеличении доли грунта, размещенного в отвал, значение индикатора будет отклоняться в сторону значения «-1».

Индикатор механического нарушения биотопа

Цель введения индикатора заключается в оценке совокупной доли временного и постоянного отторжения донных биотопов акваториальной части ПЗ.

Проведение гидротехнических работ связано с постоянным и временным нарушением донных биотопов путем физического воздействия в результате отторжения части дна, изменения глубины и т.д., что ведет к воздействию на биопродуктивность района. Постоянно отторгаемая территория и/или акватория по окончании гидротехнических работ не может быть автоматически быстро заселена и/или использована организмами. Временное нарушение биологических сообществ связано с гидротехническими работами по изменению глубины. По окончании работ биотоп может быть постепенно заселен и использован организмами.

Индикатор состоит из отношения суммы площадей проведения гидротехнических работ и постоянно отторгаемой территории и/или акватории к площади локального географического объекта, где проводятся работы.

Расчет значения индикатора выполняется по формуле (3.17):

$$I_{BD} = 1 - \left(\frac{S_{DW} + 2 * S_{PLC}}{S_{LW}} \right), \quad (3.17)$$

- где I_{BD} – индикатор механического нарушения биотопа, безразмерный;
- S_{DW} – общая площадь проведения дноуглубительных работ или площадь временного механического нарушения биотопа при проведении гидротехнических работ, м²;
- S_{PLC} – общая площадь, постоянно отторгаемая при проведении гидротехнических работ, м²;
- S_{LW} – площадь локальной акватории, в пределах которой выполняются гидротехнические работы, м²;
- 2 – коэффициент, позволяющий индикатору принимать значения в диапазоне от «-1» до «1».

Индикатор показывает отношение отторгаемой площади, временно и постоянно, при проведении гидротехнических работ. Чем выше значение индикатора, тем меньшая площадь отторгается, что снижает воздействия на экосистемы. В случае расчета по годам, для каждого последующего года значение параметра S_{LW} уменьшается на значение площади, которая была отторгнута на постоянной основе. Значение индикатора изменяется в диапазоне от «-1» до «1»,

где «1» соответствует отсутствию нарушения биотопа, «-1» соответствует полному нарушению дна водного объекта.

Индикатор перекрытия донных биотопов

Цель введения индикатора заключается в оценке относительной площади перекрытия дна водоема толщиной грунта свыше 5 мм при проведении гидротехнических работ.

Проведение гидротехнических работ непосредственно связано с изъятием, перемещением, складированием и использованием грунта. На всех этапах производства работ происходят потери, переход во взмученное состояние и седиментация грунта. Перекрытие техногенным слоем, толщиной от 5 мм, может привести к нарушению функционирования экосистем в районе проведения работ и на прилегающих биотопах, увеличивая уязвимость экосистемы к стрессовым факторам.

Индикатор состоит из суммы отношений площадей перекрытия грунтом, толщиной свыше 5 мм, при углублении и намыве, к площади локального географического объекта и площадей перекрытия грунтом, толщиной свыше 5 мм, при сбросе грунта в подводный отвал к площади подводного отвала.

Расчет значения индикатора выполняется по формуле (3.18):

$$I_{BR} = 1 - \left(\frac{S_{DR5} + S_{TC5}}{S_{LW,TA}} + \frac{S_{DUM5}}{S_{DUM}} \right), \quad (3.18)$$

- где I_{BR} – индикатор перекрытия донных биотопов, безразмерный;
- S_{DR5} – площадь перекрытия грунтом, толщиной свыше 5 мм, при проведении гидротехнических работ, м²;
- S_{TC5} – площадь перекрытия грунтом, толщиной свыше 5 мм, при проведении намывных работ, м²;
- S_{TA} – площадь акватории, на которой допустимо превышение концентрации взвешенных веществ в воде свыше 0,25 мг/л или 0,75 мг/л в зависимости от категории водопользования, если такие допущения установлены;
- S_{DUM5} – площадь перекрытия грунтом, толщиной свыше 5 мм, при сбросе грунта в отвал, м²;
- S_{DUM} – общая площадь отвала, м².

Если отвал грунта располагается в пределах той же локальной акватории, что и проведение гидротехнических работ, то распределение зоны перекрытия грунтом суммируются для одной акватории при проведении работ и сбросе грунта в отвал. Чем большая территория перекрывается грунтом, тем ниже значение индикатора. Индикатор принимает значения в пределах от «-1» до «1». Если перекрытие техногенным осадком не происходит, индикатор

принимает значения «1». Когда площадь перекрытия техногенным осадком равна по площади локальной географической единице, в пределах которой проводятся гидротехнические работы, значение индикатора принимает значение «0». При превышении площади географической единицы значение индикатора принимает отрицательные значения.

Индекс применимости грунтов по степени загрязнения

Цель введения индекса заключается в оценке степени применимости извлеченного грунта для дальнейшего использования или захоронения в подводном отвале с учетом загрязненности грунта и/или его укрупненных фракций.

Грунт, извлекаемый при проведении гидротехнических работ, может быть использован для различных целей, в зависимости от степени его загрязнения. Чистый грунт может использоваться, например, для намыва берега, тогда как при высоком уровне загрязнения грунт должен быть подвергнут дополнительной обработке для дальнейшего использования, либо размещен в специализированном отвале. Для водных объектов Санкт-Петербурга применяется локальный документ «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга» [78], согласно которому определены четыре уровня загрязненности донного грунта и максимальные допустимые значения, определяющие возможность применения грунта для различных целей. Для иных объектов необходимо использовать локальные нормативы, в случае их наличия.

Индекс включает в себя среднее значение суммы индикаторов покомпонентного загрязнения донного грунта. Индикатор относительной загрязненности грунта по i -му веществу определяется как отношение текущей к максимально допустимой концентрации загрязняющего вещества для конкретного вида пользования.

Расчет значения индекса выполняется по формулам (3.19-3.22):

$$I_{SP_i} = \frac{C_{PM_i}}{C_{MAC_{targi}}}, \quad (3.19)$$

$$I_{SP_n} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{PM_i}}{C_{MAC_{targi}}}, \quad (3.20)$$

$$I_{SP_{frj}} = 1 - \frac{I_{SP_n}}{n} \quad (3.21)$$

$$I_{SP} = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^{n_{fr}} I_{SP_{frj}}}{n_{fr}}, & \text{если } I_{SP_i} \in [0; 1) \\ -1, & \text{если } I_{SP_i} > 1 \end{cases} \quad (3.22)$$

где	I_{SP}	–	индекс применимости грунтов по степени загрязнения, безразмерный;
	I_{SP_i}	–	индикатор относительной загрязненности грунта по i -му веществу, безразмерный;
	C_{PM_i}	–	содержание i -го загрязняющего вещества в грунте, мг/кг;
	$C_{MAC_{targi}}$	–	ПДК i -го загрязняющего вещества в грунте для определенной категории загрязнения, мг/кг;
	I_{SP_n}	–	промежуточное значение индикатора загрязненности грунтов для n веществ, безразмерный;
	n	–	количество загрязняющих веществ, шт.;
	$I_{SP_{frj}}$	–	индикатор загрязненности фракции j , безразмерный;
	n_{fr}	–	количество фракций в рассматриваемом грунте, шт.

В случае чистых или незагрязненных грунтов индекс будет принимать значение «1». Если уровень содержания загрязняющих веществ равен предельно-допустимым значениям, значение индикатора принимает значение «0». Если значение допустимой концентрации превышено для определенного уровня загрязнения, установленного нормативным документом, индикатор принимает отрицательные значения. В этом случае необходимо принимать дополнительные меры для обеспечения возможности использования грунта, либо его размещения в специализированном отвале, с учетом локальных или региональных рекомендаций.

Индикатор распространения шлейфа мутности

Цель введения индикатора заключается в оценке распространения шлейфа мутности при проведении гидротехнических работ.

Увеличение концентрации взвешенных веществ при проведении гидротехнических работ зависит от гранулометрического состава грунта и природных факторов и приводит к формированию шлейфа мутности. Распространение шлейфа мутности влияет на биологическую продуктивности района и в целом на геоэкологическую ситуацию в районе.

Расчет значения индикатора выполняется по формуле (3.23):

$$I_{TURB} = 1 - \left(0,5 * \frac{V_{W_TURB}}{V_{W_DW}} + 0,5 * \frac{V_{WT_DM}}{V_{W_DUM}} \right), \quad (3.23)$$

где	I_{TURB}	–	индикатор распространения шлейфа мутности, безразмерный;
	V_{W_TURB}	–	объем замутненных вод, концентрация взвешенных веществ в котором при проведении гидротехнических работ превышает фоновое значение на 0,25 мг/л и более, м ³ ;
	V_{W_DW}	–	объем воды в зоне проведения гидротехнических работ, определяемый как

- водный столб над площадью проведения гидротехнических работ, м³;
- V_{WT_DM} – объем замутненных вод, образующийся при сбросе грунта в отвал, с концентрацией взвешенных веществ выше фонового значения на 0,25 мг/л и более, м³;
- V_{W_DUM} – объем воды над отвалом грунта, определяемый как водный столб над отвалом грунта, м³;
- 0,5 – коэффициент для учета превышения объема замутненных вод не более, чем в два раза от объема водного столба над площадью проведения гидротехнических работ.

При превышении объема замутненных вод более чем в два раза объема воды над площадью проведения работ и сброса грунта в отвал, необходимо предусмотреть возможность дополнительной защиты от распространения зоны мутности и минимизации воздействия на геосистему.

Индекс относительного загрязнения воды

Цель введения индекса заключается в оценке относительной степени загрязнения природной воды при проведении гидротехнических работ с учетом фоновых значений.

Проведение гидротехнических работ связано с перемещением грунта, который характеризуется определенным химическим составом природного и антропогенного происхождения. Последний компонент может значительно превышать природные значения. В результате взмучивания грунта происходит попадание загрязняющих веществ в водную толщу, что вызывает ее вторичное загрязнение.

Индекс рассчитывается как отношение покомпонентной суммы концентраций загрязняющих веществ, попадающих в водную среду со взмученным веществом в результате проведения гидротехнических работ, и фоновыми концентрациями к значению ПДК либо регионального норматива. Для расчета индекса принимается максимальное распространение шлейфа мутности при проведении гидротехнических работ.

Расчет значения индекса выполняется по формулам (3.24–3.25):

$$I_{WPi} = \frac{\frac{M_{POLi}}{V_{TURB}} + C_{\Phi i}}{C_{ПДКi}}, \quad (3.24)$$

$$I_{WP} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n I_{WPi}}{n}, \quad (3.25)$$

где I_{WPi} – индикатор относительного загрязнения воды i -м компонентом, безразмерный;

- M_{POLi} – масса i -го загрязняющего вещества, переходящего во взвешенное состояние при проведении гидротехнических работ, т. При переводе из тонн в мг предусматривается множитель 10^9 ;
- V_{TURB} – объем воды, в котором концентрация взвешенного вещества при проведении гидротехнических работ превышает 0,25 мг/л, m^3 . При переводе из m^3 в л предусматривается множитель 10^3 ;
- $C_{\Phi i}$ – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества в воде, мг/л. В случае отсутствия данных, фоновая концентрация вещества приравнивается «0»;
- $C_{ПДК i}$ – ПДК i -го загрязняющего вещества в воде, мг/л;
- I_{WR} – индекс относительного загрязнения воды, безразмерный.

Если при проведении гидротехнических работ дополнительное загрязнение воды отсутствует, индекс принимает значение «1». Если при проведении гидротехнических работ концентрация загрязняющих веществ в воде равна ПДК, индекс равен «0», при превышении ПДК более чем в два раза значение индекса составляет «-1».

Группа индекса потери кормовых ресурсов

Цель введения индекса заключается в оценке относительной потери кормовых ресурсов при проведении гидротехнических работ.

Проведение гидротехнических работ оказывает воздействие на экосистему в целом, ввиду снижения площадей и/или объемов обитания, воспроизводства, нагула и наличия кормовых ресурсов. К кормовым ресурсам относятся фито- и зоопланктон и бентос, тогда как заросли макрофитов формируют места обитания, размножения и нагула для различных видов рыб, являясь ценными биотопами.

Индикаторы оценивают относительные покомпонентные потери макрофитов, фито- и зоопланктона и бентоса.

Индикатор нарушенности зарослей макрофитов

Цель введения индикатора заключается в оценке возможного нарушения зарослей макрофитов при проведении гидротехнических работ.

Проведение гидротехнических работ может затрагивать заросли макрофитов, являющихся ценным биотопом для биологических компонентов геосистемы, особенно на мелководье. Вероятность нарушения зарослей макрофитов при увеличении их площади или площади проведения гидротехнических работ увеличивается, что требует дополнительного полевого исследования участка при окончательном принятии решения.

Расчет индикатора осуществляется по формуле (3.26):

$$I_{MP} = 1 - \left(\frac{S_{DW} + S_{PLC}}{S_{LMP}} \right), \quad (3.26)$$

где I_{MP} – индикатор нарушенности зарослей макрофитов, безразмерный;
 S_{LMP} – площадь зарослей макрофитов в пределах локальной акватории, м².

В случае отсутствия данных о зарослях макрофитов локальной экосистемы используется следующий коэффициент (3.27):

$$K_{LW} = \frac{S_{LW}}{S_W}, \quad (3.27)$$

где K_{LW} – коэффициент соотношения площадей в пределах одного водного объекта меньшего порядка к большему, безразмерный;

S_W – площадь водной акватории, более высокого ранга, м².

Значение S_{LMP} с использованием коэффициента принимает вид (3.28):

$$S_{LMP} = K_{LW} * S_{MP}, \quad (3.28)$$

где S_{MP} – площадь зарослей макрофитов в пределах водной акватории, более высокого ранга, м².

Если в пределах локальной акватории отмечается отсутствие зарослей макрофитов, значение индикатора принимает значение «1». Если гидротехнические работы или намыв территории занимает всю область произрастания макрофитов, то индикатор принимает значение «-1».

Индикатор нарушенности бентосных сообществ

Цель введения индикатора заключается в оценке минимального уровня нарушения бентосного сообщества при проведении гидротехнических работ с учетом диапазона биологической продуктивности района.

Диапазон средних многолетних колебаний биомассы бентоса может значительно варьироваться в пределах локальной географической единицы, ввиду естественной динамики и изменения антропогенного давления, и отражать наличие более и менее продуктивных районов и риска их потери. Учет биомассы бентоса на единицу проведения гидротехнических работ позволяет сопоставить возможные относительные потери данного кормового ресурса.

Расчет индикатор нарушенности бентосных сообществ осуществляется по формуле (3.29):

$$I_{LBC} = 1 - \left(\frac{K_{bpl_DW} * (S_{DW} + S_{PLC}) + K_{bpl_DUM} * S_{DW_DUM}}{S_{LW} + S_{DUM}} \right), \quad (3.29)$$

где I_{LBC} – индикатор нарушенности для бентосных сообществ, безразмерный;
 S_{DW_DUM} – площадь отвала, отведенная под сброс грунта при проведении гидротехнических работ, м²;
 K_{bpl_DW} , K_{bpl_DUM} – коэффициенты колебания средней многолетней биологической продуктивности бентосных организмов для района проведения работ и отвалов грунта, соответственно, и рассчитываются по формуле K_{bpl} (3.30).

Для бентоса, фито- и зоопланктона определяется отношение многолетних средних максимальных к минимальным значениям продуктивности организмов в г/м² для бентосных организмов и в г/м³ для фито- и зоопланктона (3.30) для района проведения работ или локального географического объекта (губа, залив, пролив и т.п.):

$$K_{bpl,ppl,zpl} = \frac{B_{avmax}}{B_{avmin}}, \quad (3.30)$$

где $K_{bpl,ppl,zpl}$ – коэффициент диапазона биологической продуктивности бентоса, фитопланктона и зоопланктона за сезон, соответственно, безразмерный;
 B_{avmax} – среднее максимальное значение продуктивности, в г/м² для бентосных организмов и в г/м³ для фито- и зоопланктона;
 B_{avmin} – среднее минимальное значение продуктивности, в г/м² для бентосных организмов и в г/м³ для фито- и зоопланктона.

Индикатор принимает значение «1», когда вариативность биомассы бентоса в пределах географического объекта проведения работ незначительна или площадь гидротехнических работ минимальна. При значительной неоднородности биологической продуктивности в пределах района и/или значительной площади проведения работ индикатор принимает значение «-1».

Индикатор нарушенности фитопланктона

Цель введения индикатора заключается в оценке относительной потери фитопланктона при проведении гидротехнических работ.

При проведении гидротехнических работ потери фитопланктона связаны с комплексом факторов и оцениваются как отношение объемов воды проведения работ и локального географического объекта с учетом продуктивности фитопланктона, выраженной через его биомассу. Увеличение диапазона среднемноголетних значений биомассы фитопланктона отражает неоднородность вод и риски потери ценного кормового объекта.

Индикатор нарушенности фитопланктона определяется по формуле (3.31):

$$I_{PL_PH} = 1 - \left(\frac{K_{ppl_DW} * (V_{W_DW} + V_{PLC}) + K_{ppl_DUM} * V_{WDW_DUM}}{V_{LW} + V_{W_DUM}} \right), \quad (3.31)$$

где I_{PL_PH} – индикатор нарушенности фитопланктона, безразмерный;
 V_{PLC} – объем воды, постоянно отторгаемый при проведении гидротехнических работ, м³;
 V_{LW} – объем воды локальной акватории, в пределах которой выполняются гидротехнические работы, м³;
 V_{WDW_DUM} – объем воды над площадью отвала грунта, выделенной для сброса грунта в отвал, м³;
 K_{ppl_DW} , – коэффициенты колебания средней многолетней биологической продуктивности фито- и зоопланктона в районе проведения работ и отвалов грунта, соответственно, и рассчитываются по формуле (3.30).

Индикатор принимает значение «1», когда вариативность продуктивности фитопланктона незначительна или объем гидротехнических работ минимален. При значительной неоднородности биологической продуктивности в пределах района и/или значительного объема гидротехнических работ индикатор принимает значение «-1».

Индикатор нарушенности зоопланктона

Цель введения индикатора заключается в оценке относительной потери зоопланктона при проведении гидротехнических работ.

Принципы изменения значения индикатора идентичны потерям фитопланктона.

Индикатор нарушенности зоопланктона определяется по формуле (3.32):

$$I_{PL_Z} = 1 - \left(\frac{K_{zpl_DW} * (V_{W_DW} + V_{PLC}) + K_{zpl_DUM} * V_{WDW_DUM}}{V_{LW} + V_{W_DUM}} \right), \quad (3.32)$$

где I_{PL_Z} – индикатор нарушенности зоопланктона, безразмерный;
 K_{zpl_DW} , – коэффициенты колебания средней многолетней биологической продуктивности фито- и зоопланктона в районе проведения работ и отвалов грунта, соответственно, и рассчитываются по формуле (3.30).

Индикатор принимает значение «1», когда вариативность продуктивности зоопланктона незначительна или объем гидротехнических работ минимален. При значительной неоднородности биологической продуктивности в пределах района и/или значительного объема гидротехнических работ индикатор принимает значение «-1».

Индекс потери кормовых ресурсов

Индекс потери кормовых ресурсов определяется как усредненное значение индикаторов потери укрупненных групп кормовых ресурсов геосистемы ПЗ.

Расчет значения индекса потери кормовых ресурсов выполняется по формуле (3.33):

$$I_{FS} = \frac{I_{MP} + I_{LBS} + I_{PL_PH} + I_{PL_Z}}{4}, \quad (3.33)$$

где I_{FS} – индекс потери кормовых ресурсов, безразмерный.

Индекс принимает значение «1», когда отсутствуют потери кормовых ресурсов. Значение «0» соответствует равенству потерь кормовых ресурсов за весь период проведения работ. Отрицательные значения индекса соответствуют превышению потери кормовых ресурсов в течение периода проведения работ к общему значению ресурсов в случае невозможности компенсации потери в течение одного сезона.

Индикатор потери рыбных ресурсов

Проведение гидротехнических работ оказывает воздействие на запасы рыбных ресурсов в результате нарушения как биотопа, так и компонентов экосистем.

Цель введения индикатора заключается в оценке относительных потерь рыбных ресурсов по отношению к средней общей продуктивности экосистемы, в пределах которой проводятся работы. Индикатор состоит из двух компонентов:

- временные потери, связанные с проведением гидротехнических работ, при этом физическое отторжения дна не происходит;
- постоянные потери, связанные с постоянными потерями ввиду отторжения дна и невозможностью восстановления любых экосистем в данном районе.

Расчет значения индикатора выполняется по формуле (3.34):

$$I_{FL} = 1 - \left(\frac{\sum_{k=1}^m B_{FDR_Tk}}{m * B_{FLDR}} + \frac{\sum_{k=1}^m B_{FDUM_Tk}}{m * B_{FLDUM}} + \frac{\sum_{k=1}^m B_{FDR_Pk}}{m * B_{LCDR}} \right), \quad (3.34)$$

где I_{FL} – индикатор потерь рыбных ресурсов, безразмерный;

m – количество лет проведения работ, год;

B_{FDR_Tk} – временная потеря биомассы рыбы в районе гидротехнических работ для k -го года, т;

B_{FDUM_Tk} – временная потеря биомассы рыбы в районе отвала грунта для k -го года, т;

B_{FDR_Pk} – постоянные потери биомассы рыбы для k -го года, т;

B_{FLDR} – общая биомасса рыбы в пределах географического района гидротехнических работ, рассчитывается согласно формуле (3.35), т;

B_{FLDUM} – общая биомасса рыбы в пределах географического района отвала грунта, рассчитывается согласно формуле (3.35), т;

B_{LCDR} – общая биомасса продуктивности нерестилищ в пределах географического района строительства, рассчитывается согласно формуле (3.36), т.

$$B_{FLDR,DUM} = B_F * (S_{LW}, S_{DUM}), \quad (3.35)$$

где B_F – средняя биомасса рыбы, г/га или т/га.

$$B_{LC} = B_{CB} * S_{PLC}, \quad (3.36)$$

где B_{CB} – биопродуктивность прибрежных нерестилищ, г/га или т/га.

Индикатор принимает значения в пределах от «-1» до «1», где «-1» означает полную потерю рыбных запасов, тогда как «1» соответствует отсутствию воздействия на рыбные запасы. При расчете индикатора необходимо учитывать продолжительность (количество лет) проведения гидротехнических работ, ввиду ежегодных потерь рыбных ресурсов.

Индекс комплексного антропогенного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ

Индекс комплексного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ рассчитывается как среднее значение между индикаторами и индексами оценки воздействия элемента ПТС на геосистему, по формуле (3.37):

$$I_{ADP} = \frac{I_{EAPC} + I_{CL} + I_{UOS} + I_{BD} + I_{BR} + I_{SP} + I_{TURB} + I_{WP} + I_{FS} + I_{FL}}{10}, \quad (3.37)$$

где I_{ADP} – индекс комплексного антропогенного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ.

Значение индекса принимают значения принимать значение от «-1» до «1», где «-1» – высокий уровень воздействия и уязвимости геосистемы, необходимо принимать меры по снижению воздействия, «1» – антропогенное воздействия отсутствует, и среда является стабильной.

Обобщения к главе 3

Авторская методика включает в себя оценку геоэкологической ситуации в ПЗ в приморском локальном муниципалитете (ПЛМ) с численностью населения менее 100 тыс. человек и с прилегающей акваторией и элемента урбанизации, оказывающего наибольшее стрессовое воздействие. В качестве такого элемента выбран аванпорт «Бронка», строительство которого способствовало трансформация 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.

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».

Авторская методика проведения лабораторных экспериментов по определению уязвимости макрозообентоса – личинок комара-звонца или мотыля *Chironomus plumosus* – к перекрытию (засыпанию) сбрасываемым с различной периодичностью грунтом состоит из 13 основных пунктов. Уязвимость макрофитов – *Elodea canadensis* и *Ceratophyllum demersum* – к воздействию увеличенной мутности и способности к вегетации в таких условиях состоит из 9 основных пунктов. Результаты эксперимента легли в основу авторской методики по ОГСПЗ для оценки элемента воздействия ПТС на геосистему ПЗ.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНО-ИНДИКАТОРНОГО ПОДХОДА

4.1. Результаты комплексно-индикаторной оценки качества окружающей среды приморских локальных муниципалитетов

В настоящей главе приводятся результаты апробирования авторской методики ОГСПЗ для Невской губы на основе комплексно-индикаторного подхода для ПЛМ с прилегающей акваторией и аванпорта «Бронка» при проведении гидротехнических работ.

Разработанная методика была применена для ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения менее 100 тыс. человек и имеющих свободное пространство для развития. Исходя из вышеуказанного допущения 65-й муниципальный округ Приморского района г. Санкт-Петербурга был исключен из расчетов.

ОГСПЗ проводилась для двух типов ПЛМ Санкт-Петербурга, численность которых не превышает 100 тыс. человек, для увеличения вариативности отклика геосистемы при различных условиях природопользования. Первый тип включает в себя 6 ПЛМ в Невской губе, являющейся объектом диссертационного исследования. Второй тип включает в себя 9 ПЛМ, расположенных в пределах Санкт-Петербурга, но относящихся к восточной части Финского залива. Оба типа ПЛМ различаются по природным условиям и уровнем антропогенного воздействия, однако принадлежат к одной урбанизированной территории. Схема расположения ПЛМ представлена на рисунке 3.1. Расчет индикаторов и индексов проводился для периода 2008–2016 гг., охватывая время от начала проведения гидротехнических работ по созданию аванпорта «Бронка» до завершающего этапа второй очереди морского канала МК-2.

ОГСПЗ от реализации гидротехнического проекта – аванпорт «Бронка» – была проведена для всего периода проведения гидротехнических работ в 2011–2017 гг.

Для обоснования выбора набора индикаторов по биологическому компоненту от реализации гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию Невской губы были проведены лабораторные исследования. В ходе эксперимента была изучена уязвимость компонентов биологического сообщества к наиболее опасным воздействиям при проведении гидротехнических работ: увеличению мутности воды и перекрытию бентосных сообществ донными отложениями при размещении грунта в подводный отвал.

4.1.1. Индикаторы негативного воздействия на окружающую среду

Индикатор относительной плотности распределения предприятий

Значение индикатора относительной плотности распределения предприятий в период с 2008 по 2016 гг. зависит от неоднородного распределения предприятий между ПЛМ и ПР и изменением их количества, в том числе – предприятий, имеющих стационарные источники выбросов в атмосферу, в указанный период.

В Невской губе в 5 из 6 ПЛМ в период с 2008 по 2016 гг. не наблюдалось изменение классификации по относительной плотности распределения предприятий (рисунок 4.1). В ПЛМ Лисий Нос за указанный период не отмечалось наличие предприятий, индикатор принимал значение «1,00». В ПЛМ Лахта-Ольгино отмечался рост числа предприятий, динамика роста внутри ПЛМ и соотношение с ПР было неоднородным, что определило колебание между категориями с минимальным и незначительным воздействием с изменением значения индикатора, составив «0,83», «0,71» и «0,77» в 2008, 2014 и 2016 гг., соответственно. В ПЛМ Стрельна, Ломоносов и Кронштадт наблюдалось снижение количества предприятий в период 2008-2016 гг., что отразилось в увеличении значения индикатора для указанных ПЛМ с «-0,36», «0,14» и «0,35» до «-0,24», «0,18» и «0,62» в 2008 и 2016 гг., соответственно. В ПЛМ Петергоф количество предприятий изменялось в рассматриваемый промежуток времени, но оставалась практически одинаковой в начале и конце периода. Значение индикатора составило «0,03» и «-0,05» в 2008 и 2016 гг., соответственно.

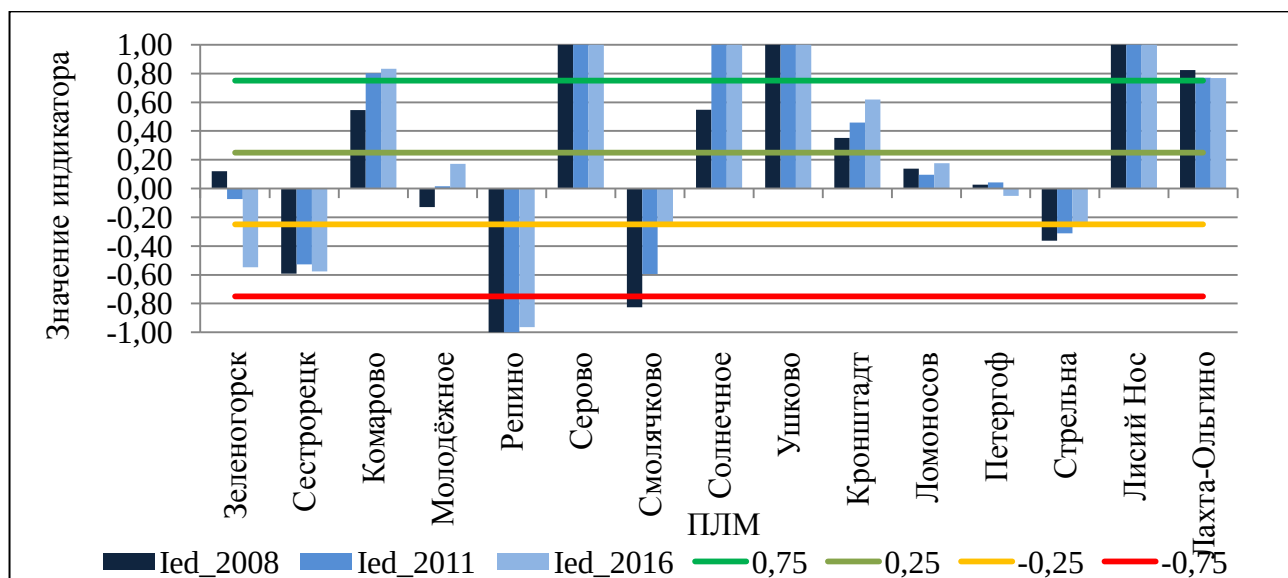


Рисунок 4.1 – Индикатор относительной плотности распределения предприятий в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Для сравнения, в Курортном ПР 4 из 9 рассматриваемых ПЛМ (Комарово, Серово, Солнечное, Ушково) в 2016 г. относились к категории с минимальным антропогенным

воздействием ввиду отсутствия или минимального количества предприятий. Значение индикатора находится в диапазоне от «0,83» до «1,00» для указанного года. Наибольшее количество предприятий зарегистрировано в ПЛМ Сестрорецк, однако, ввиду его наибольшей площади среди ПР Курортный, значение индикатора находилось в диапазоне от «-0,59» до «-0,42», по классификации в ПЛМ наблюдается высокое антропогенное воздействие.

Изменение по числу ПЛМ, относящихся к разным группам антропогенного воздействия в период с 2008 по 2016 гг., не превышало двух единиц (рисунок 4.2). В 9 из 15 ПЛМ относительная плотность предприятий не менялась, либо колебания не приводили к переходу из одной группы в другую. Максимальная относительная плотность предприятий отмечалась в 2008 г. в двух ПЛМ, с 2009 – в одном. Наибольшее количество ПЛМ относилось к категории с отсутствием или минимальным антропогенным воздействием, среди которых по состоянию на 2016 г. в Невской губе было ПЛМ (Лисий Нос и Лахта-Ольгино). В группе с максимальной относительной плотностью предприятий ПЛМ Невской губы не отмечено.

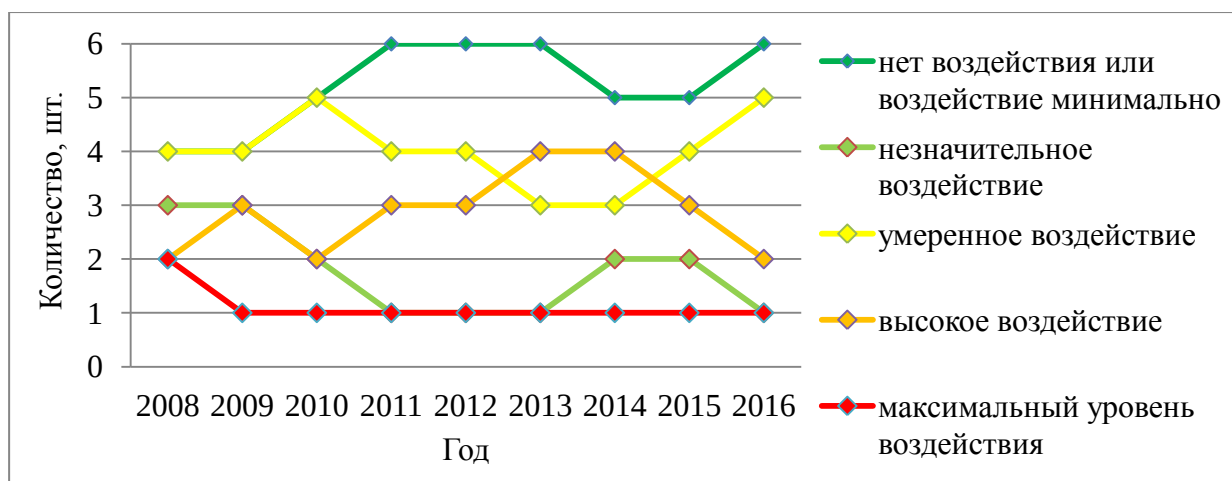


Рисунок 4.2 – Количество ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индикатору относительной плотности распределения предприятий

На основе анализа значений индикатора относительной плотности распределения предприятий за период с 2008 по 2016 гг. выделены три группы ПЛМ:

- стабильное значение индикатора;
- колебание в пределах двух соседних групп;
- колебание в пределах трех групп.

Изменения значения индикатора в период с 2008 по 2016 гг. связаны с изменением количества предприятий внутри ПЛМ и ПР и соотношения между ними.

Индикатор выбросов в атмосферу

Наибольшее количество проанализированных ПЛМ относятся к группе с максимально положительным воздействием на геосистему ПЗ (рисунок 4.3), ввиду отсутствия или с

минимальным количеством выбросов в атмосферу от стационарных источников: ПР Курортный (Комарово, Молодежное, Серово, Солнечное, Ушково) и ПР Приморский (Лисий Нос и Лахта-Ольгино с относительно небольшим количеством выбросов).

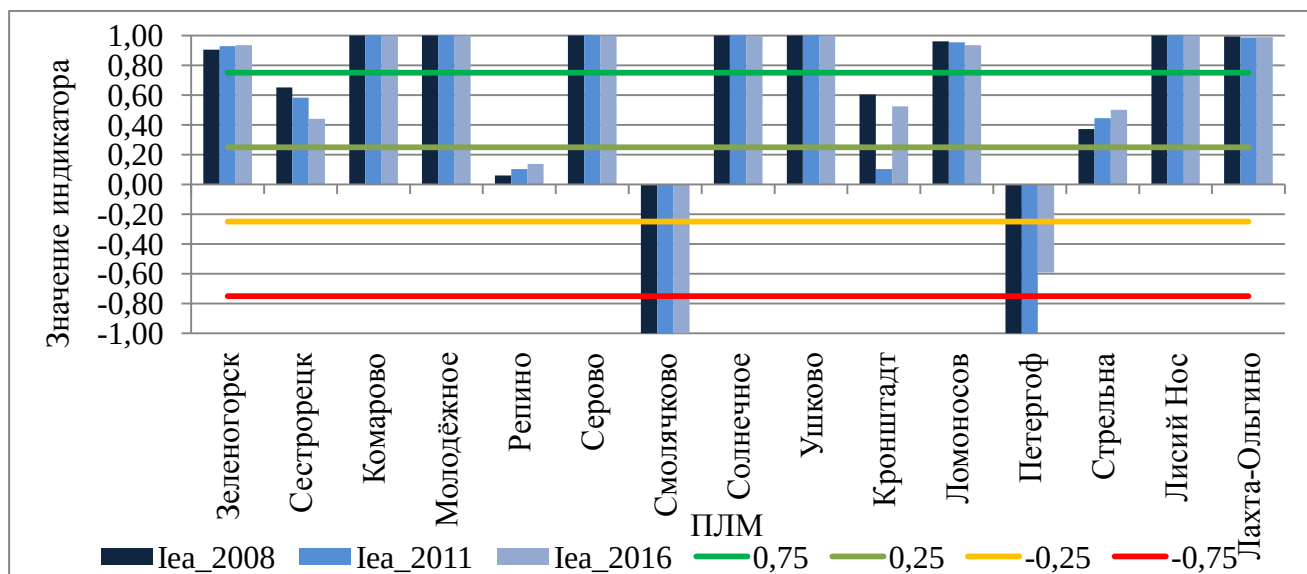


Рисунок 4.3 – Индикатор выбросов в атмосферу в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Наибольшее количество выбросов отмечается в ПЛМ Петергоф, однако динамика доходов в данном ПЛМ в период между 2008 и 2016 гг. была значительно выше прироста выбросов. Это способствовало переходу ПЛМ Петергоф из категории с максимально негативным воздействием в категорию с высоким негативным воздействием.

Распределение по индикатору выбросов в атмосферу в период 2008–2016 гг. (рисунок 4.4) оставалось стабильным для 12 из 15 ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек. В ПЛМ Петергоф, на который приходится наибольшая часть выбросов от производства в Петродворцовом ПР в период с 2008 по 2016 гг., отмечается увеличение выбросов в 2 раза, тогда как увеличение доходов за сходный период составило более 6 раз, что отразилось в переходе указанного ПЛМ из группы максимально отрицательных значений в группу с высокими отрицательными значениями. В ПЛМ Репино и Кронштадт отмечаются переходы между группами с умеренными и низкими относительными значениями выбросов в атмосферу ввиду изменения соотношения между выбросами и доходами в ПЛМ и ПР принадлежности каждого.

Основная причина улучшения позиций в распределении групп тесно связана с сокращением выбросов в атмосферу ПЛМ и увеличением относительной стоимости выбросов, что может быть использовано для компенсации негативного воздействия на окружающую среду.

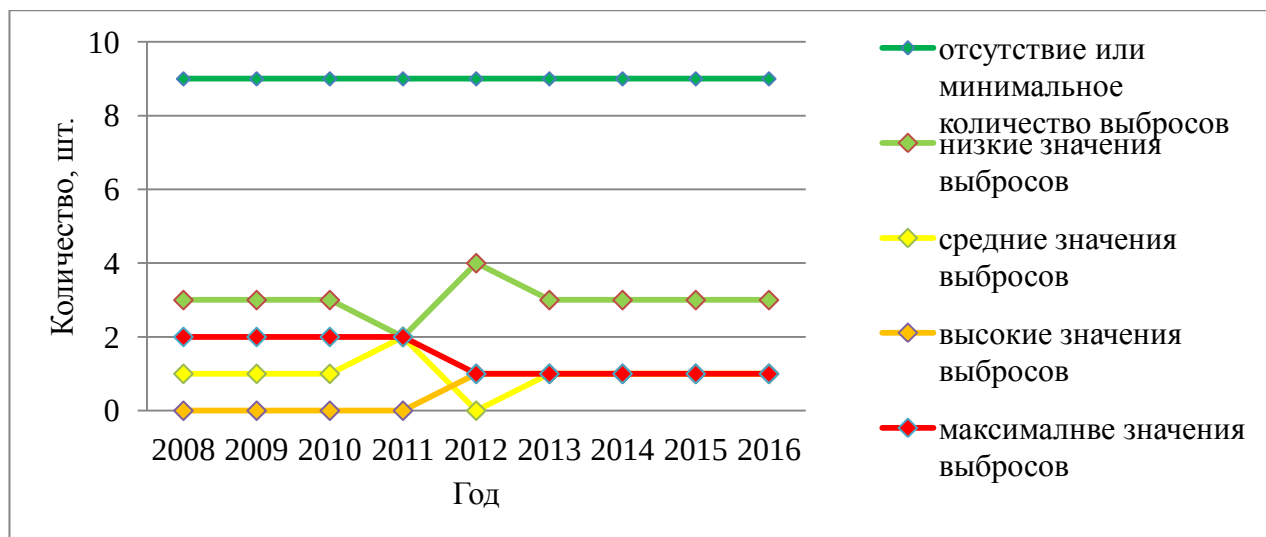


Рисунок 4.4 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индикатору выбросов в атмосферу в период с 2008 по 2016 гг.

Индикатор плотности населения в прибрежной зоне

Большая часть проанализированных ПЛМ является малонаселенной относительно ПР, что характеризуется высокими положительными значениями индикатора плотности прибрежного населения (рисунок 4.5).

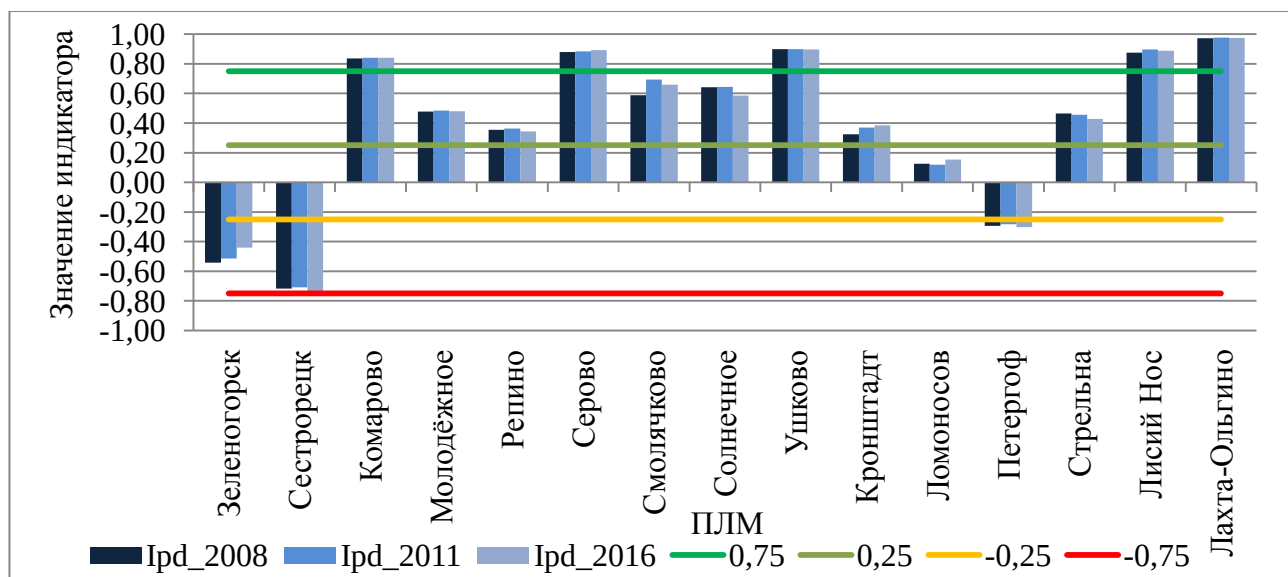


Рисунок 4.5 – Индикатор плотности населения в прибрежной зоне в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Большинство ПЛМ, которые входят в группу с минимальным антропогенным воздействием, относятся к Курортному ПР, характеризуются относительно большой площадью и являются малонаселенными, численность в которых не превышает 4 000 человек, что

составляет менее 10 % от общего количества населения в ПР. Основной вид деятельности в данных ПЛМ связан с рекреацией и санаторно-курортным делом.

Плотность населения в ПЛМ Невской губы неоднородна, что отражает разброс значений индикатора плотности прибрежного населения. По данному индикатору рассмотренные ПЛМ Невской губы могут быть отнесены к четырем категориям: от минимального до значительного негативного воздействия. Наименьшее соотношение относительной плотности населения наблюдается в ПЛМ Лисий Нос и Лахта-Ольгино, наибольшая – в ПЛМ Петергоф.

В период с 2008 по 2016 гг. не отмечается перехода ПЛМ из одной группы в другую (рисунок 4.6). Небольшие колебания значения индикатора в пределах ПЛМ происходят ввиду изменения численности населения в ПЗ.

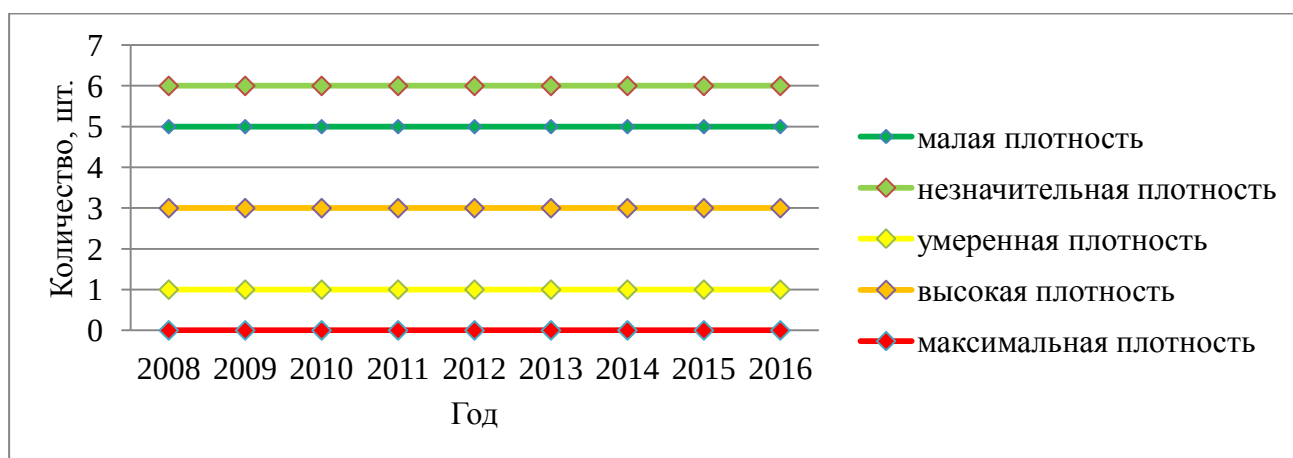


Рисунок 4.6 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индикатору плотности населения в прибрежной зоне в период с 2008 по 2016 гг.

ПЛМ Ломоносов, где производилось строительство аванпорта «Бронка» в период с 2011 по 2017 гг., относится к группе с умеренным воздействием. Наиболее активный прирост численности населения с 38 327 до 42 505 человек отмечался в период с 2008 по 2010 гг., достигнув численности населения в 43 244 человек в 2016 г. В то же время численность населения в Петродворцовом ПР составила 116 363 и 135 565 человек в 2008 и 2016 гг. соответственно, что позволило ПЛМ Ломоносов находиться в группе с умеренным воздействием относительно принадлежности к ПР.

Для сравнения, в ПЛМ Зеленогорск, который входит в группу с высоким антропогенным воздействием, в период с 2008 до 2011 гг. значение численности населения увеличилось более, чем на 500 человек, и уменьшилось на 59 человек при сравнении 2011 и 2016 гг. В это же время общая численность населения Курортного ПР Санкт-Петербурга за указанное время

увеличилось более чем на 7300 человек. Таким образом, значение индикатора составило «-0,54», «-0,51» и «-0,44» в 2008, 2011 и 2016 гг., соответственно.

Индикатор морской инфраструктуры

Несмотря на активное развитие в ПЗ Невской губы портового комплекса Большой Санкт-Петербург, строительства и ввода в эксплуатацию терминалов и увеличение грузооборота, индикатор морской инфраструктуры в период с 2008 по 2016 гг. в целом оставался стабильным (рисунок 4.7).

Терминалы портового комплекса Большой Санкт-Петербург расположены в нескольких ПЛМ, обеспечивая некоторое распределение грузооборота и трафика морских судов внутри Невской губы, что в совокупности с ее малыми размерами рассредоточивает влияние морской транспортной деятельности на геосистему ПЗ губы.

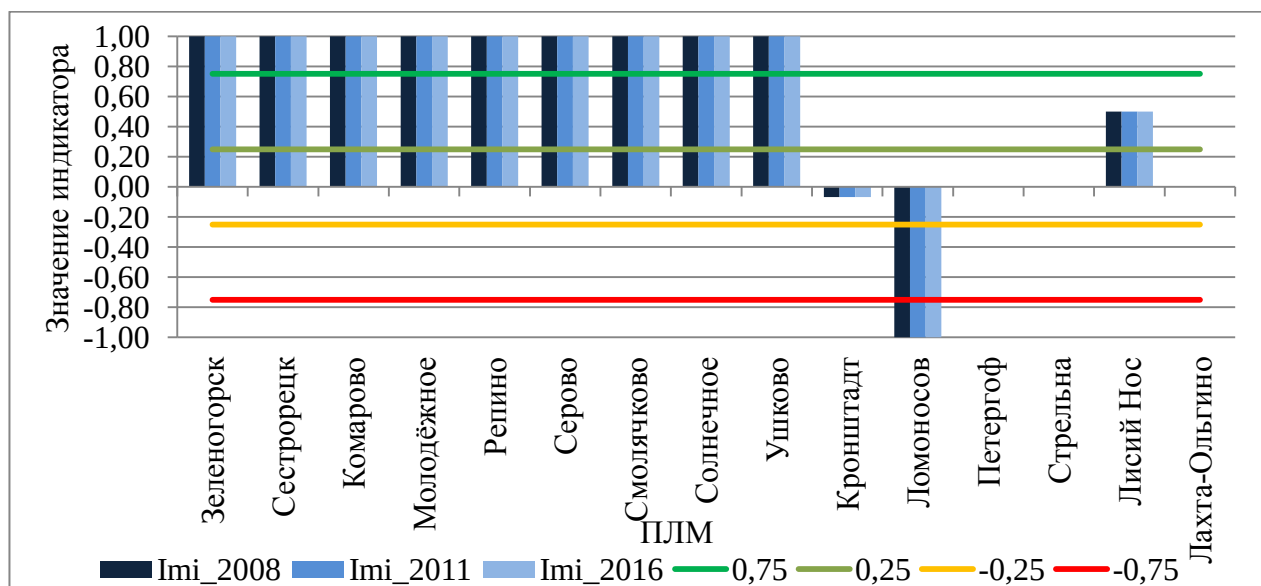


Рисунок 4.7 – Индикатор морской инфраструктуры в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Наименьшие значения индикатор принимает в ПЛМ Невской губы, где расположены терминалы портового комплекса и проходят судоходные каналы. Для сравнения, в ПР Курортный значение индикатора принимало максимально положительное значение ввиду отсутствия портовых комплексов и трафика грузовых судов в прибрежных водах его ПЛМ.

Умеренное воздействие портовой деятельности отмечается в ПЛМ при следующих условиях:

- грузооборот морского порта во много раз ниже грузооборота в муниципальном районе принадлежности ПЛМ или ПР (Кронштадт);
- отсутствие портового комплекса или терминалов, при этом в прибрежных водах проходят морские судоходные каналы (Петергоф, Стрельна, Лахта-Ольгино).

Количество ПЛМ в каждой из классификационных групп оставалось постоянным в период с 2008 по 2016 гг. (рисунок 4.8).

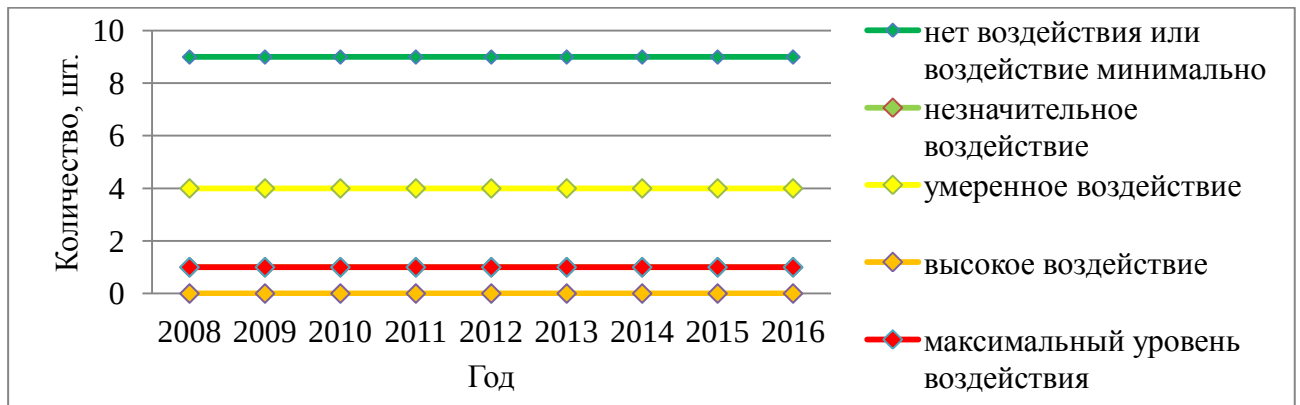


Рисунок 4.8 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индикатору морской инфраструктуры в период с 2008 по 2016 гг.

Увеличение грузооборота портовых комплексов, строительство новых терминалов и расширение уже существующих, выполняемые гидротехнические работы при создании подходных каналов и самих комплексов, в том числе при поддержании их работоспособности, оказывают значительное влияние на качество окружающей среды ПЛМ, ПР и на геосистему акватории Невской губы в целом.

Индекс негативного воздействия «давления» на окружающую среду

По значению индекса воздействия «давления» на окружающую среду большая часть ПЛМ Невской губы и Курортного ПР в период с 2008 по 2016 гг. относится к трем категориям воздействия на окружающую среду: от минимального до умеренного (рисунок 4.9).

Наибольшее колебание значений отмечается между ПЛМ Невской губы. ПЛМ Лисий Нос относится к категории с отсутствием или минимальным негативным воздействием в период 2008–2016 гг., значения индекса не опускались ниже «0,84» ввиду минимального антропогенного воздействия. ПЛМ Лахта-Ольгино и Кронштадт (в 2008 и с 2012 г.) относятся к категории с незначительным воздействием. ПЛМ Ломоносов и Стрельна в рассматриваемый период относятся к категории с умеренным воздействием, значение индекса варьировалось от «0,04» и «0,12» до «0,08» и «0,20», соответственно. В ПЛМ Петергоф наблюдалось снижение антропогенного воздействия, в 2012–2016 гг. индекс не опускался ниже «-0,24». Наибольший вклад на геоэкологическую ситуацию ПЗ оказало развитие морской инфраструктуры и относительная плотность предприятий.

Для сравнения, в Курортном ПР 45 % ПЛМ относятся к категории с минимальным антропогенным давлением на окружающую среду, что в значительной степени связано с

отсутствием морской инфраструктуры и проходом судов вблизи береговой линии, минимальным количеством или отсутствием предприятий в ряде ПЛМ и небольшой плотностью населения. ПЛМ Курортного ПР с наличием промышленных предприятий относятся к категории умеренного или слабого антропогенного давления.

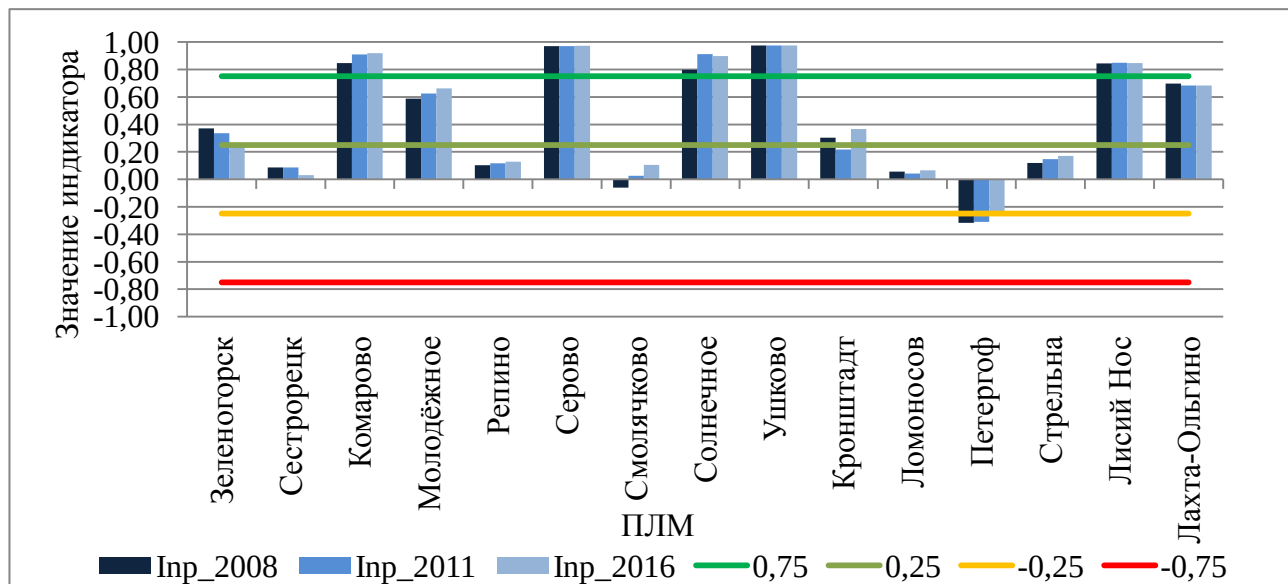


Рисунок 4.9 – Индекс негативного воздействия на окружающую среду в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Количество ПЛМ в каждой категории оставалось практически постоянным (рисунок 4.10). ПЛМ, которые относятся к категории с максимальным негативным воздействием, отсутствуют.

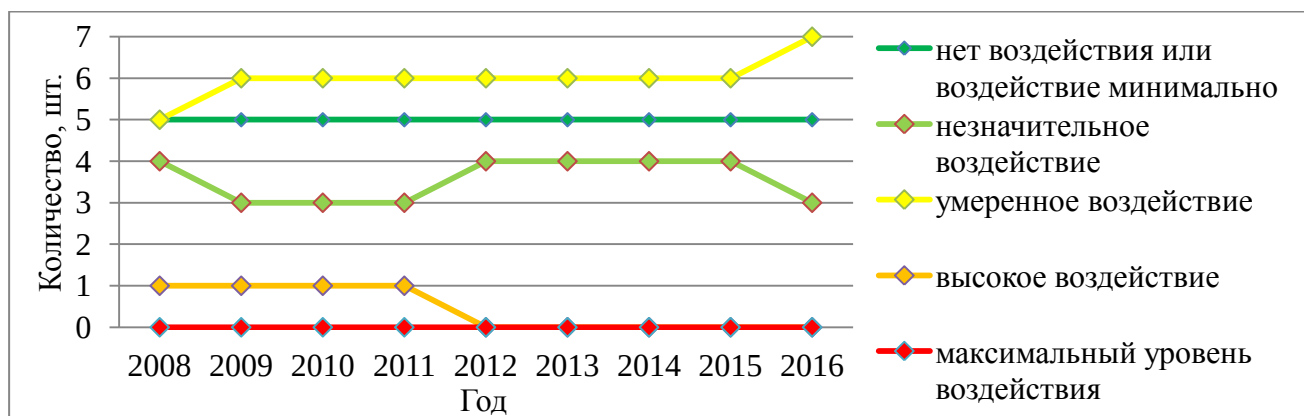


Рисунок 4.10 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индексу негативного воздействия на окружающую среду в 2008–2016 гг.

Таким образом, наибольший вклад в индекс антропогенного давления на геосистему ПЗ в ПЛМ Невской губы оказывает относительная плотность предприятий. Развитая морская

инфраструктура является дополнительным стрессовым фактором в ПЛМ Невской губы, особенно в ПЛМ с развитой промышленной деятельностью. ПЛМ Невской губы, которые одновременно имеют относительно высокую плотность предприятий и интенсивную морехозяйственную деятельность – судоходство и портовые комплексы и/или терминалы – по значению индекса относятся к группе высокого и среднего уровня негативного воздействия.

4.1.2. Индикаторы компенсаторных мероприятий

Индикатор расходов на охрану окружающей среды

Наибольшее положительное значение индикатора расходов на охрану окружающей среды отмечается для ПЛМ Невской губы Стрельна и Лахта-Ольгино (рисунок 4.11), в каждом из которых соотношение расходов на поддержание качества окружающей среды к общему доходу ПЛМ выше, чем в ПР их принадлежности.

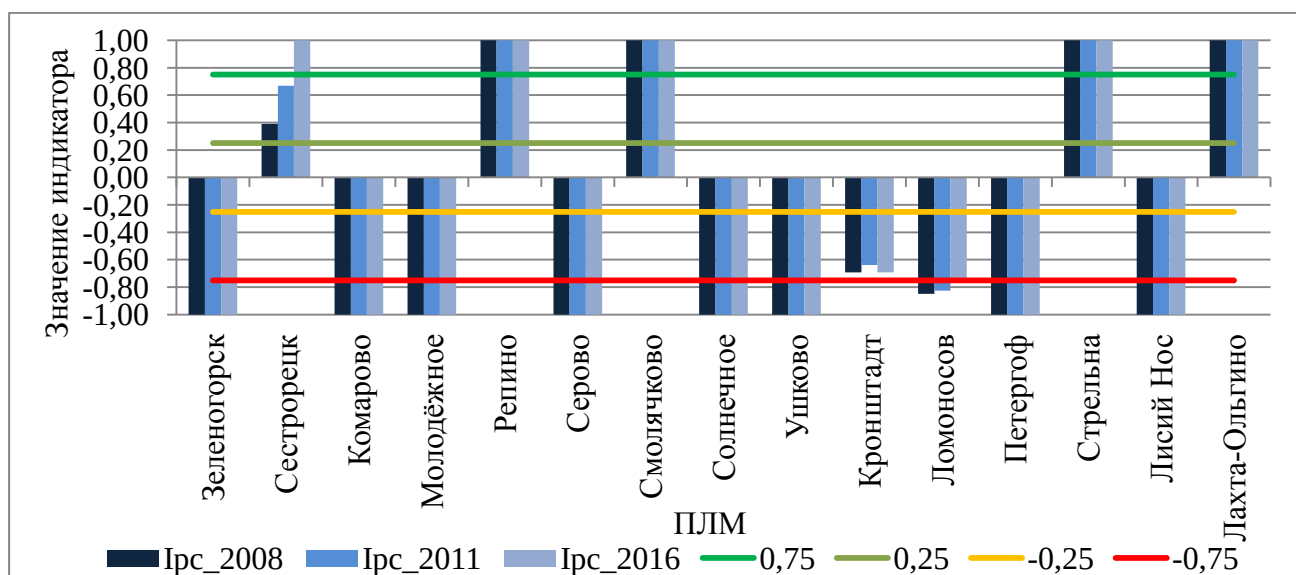


Рисунок 4.11 – Индикатор расходов на охрану окружающей среды в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

ПЛМ Петергоф относится к категории с минимальными затратами на охрану окружающей среды, ПЛМ Кронштадт относится к категории с относительно небольшими затратами. Оба ПЛМ имеют предприятия со стационарными источниками загрязнения. ПЛМ Лисий Нос также относится к категории с минимальными затратами на окружающую среду, при этом предприятия в данном ПЛМ не отмечены. ПЛМ Ломоносов с увеличением расходов на охрану окружающей среды перешел из группы с минимальными затратами в группу с низкими затратами, с развитием портовой деятельности объем затрат на охрану окружающей среды увеличивается.

Сходное распределение по категориям наблюдается в Курортном ПР, где в наихудшую категорию попали ПЛМ, часть из которых не имеет промышленности и затраты на охрану окружающей среды минимальны.

В целом, количество ПЛМ в каждой категории в период 2008–2016 гг. оставалось стабильным (рисунок 4.12) с небольшим колебанием численности в пределах соседних единиц.

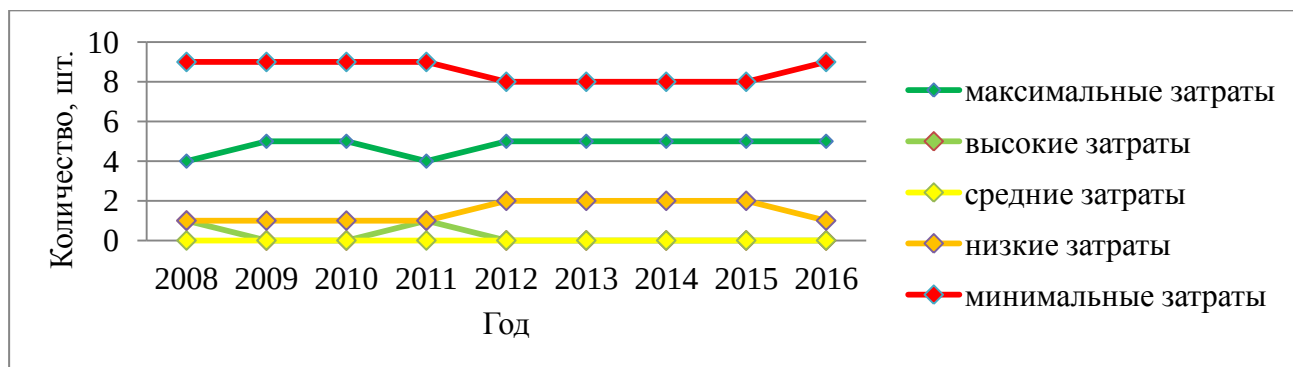


Рисунок 4.12 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индикатору расходов на охрану окружающей среды в 2008–2016 гг.

Таким образом, основными причинами неудовлетворительного значения показателя являются:

- отсутствие затрат на охрану окружающей среды – в основном для ПЛМ, где антропогенное воздействие не отмечено или минимально;
- затраты на охрану окружающей среды по сравнению с местным доходом незначительны, включая ПЛМ с развивающейся портовой инфраструктурой (Ломоносов), где антропогенное воздействие, в том числе от проведения гидротехнических работ, на геосистему ПЗ увеличивается.

Индикатор охраняемых природных территорий

Изменение значения индикатора охраняемых природных территорий (рисунок 4.13) связано с увеличением или уменьшением площади ООПТ ввиду процедуры создания или прекращения деятельности таковых.

В пределах Невской губы количество и площадь ООПТ значительно различается. Индикатор ООПТ для ПЛМ Лахта-Ольгино имеет максимально положительное значение «1,00» ввиду значительной площади и высокому процентному отношению ООПТ к размеру территории ПЛМ и значению в ПР. Значение индикатора ООПТ в ПЛМ Кронштадт после создания государственного природного заказника «Западный Котлин» в 2012 г. изменилось с «-1,00» в 2008 г. до «0,40» в 2012 г., соответственно, и было скорректировано до «0,30» к 2016 г. ввиду увеличения площади ООПТ в Санкт-Петербурге. ПЛМ Ломоносов, благодаря

созданию кластера ООПТ «Южный берег Невской губы» в 2013 г., в рамках компенсаторных мер при строительстве аванпорта «Бронка», переместился из категории с отсутствием или минимальным положительным воздействием в категорию с низким положительным воздействием, достигнув значения «-0,34». В ПЛМ Петергоф и Стрельна значения индикатора снизились до «0,48» и «-0,47» при открытии нового ООПТ «Южный берег Невской губы», соответственно. ПЛМ Петергоф остался в категории с высоким положительным воздействием, так как два из трех кластеров нового ООПТ находится в Петергофе и в целом площадь охраняемых территорий увеличилась более чем на 1,5 км², тогда как в ПЛМ Стрельна общая площадь ООПТ за указанный период не изменилась. ПЛМ Лисий Нос с 2009 г. относится к категории с умеренным положительным воздействием ввиду создания ООПТ на его территории, незначительные колебания в значениях после указанного года обусловлены изменениями в ПР Приморский.

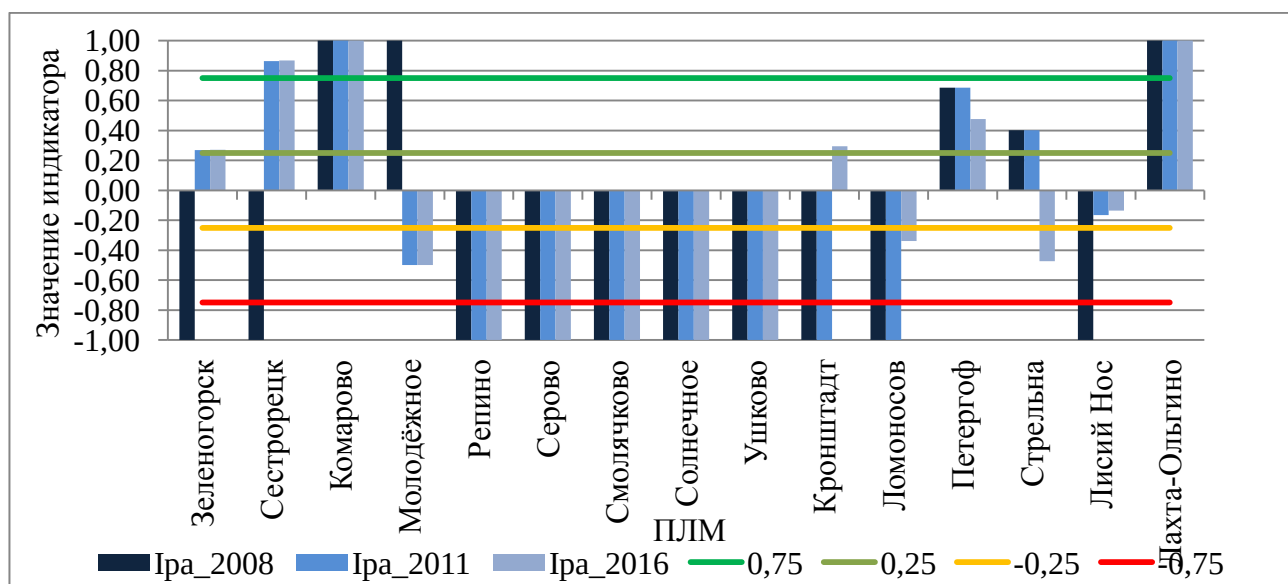


Рисунок 4.13 – Индикатор охраняемых природных территорий ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Для сравнения, 5 из 9 ПЛМ Курортного ПР относятся к категории с минимальным положительным воздействием или отсутствием такого ввиду отсутствия ООПТ в ПЛМ. Создание ООПТ в Зеленогорске, Сестрорецке и Комарово в 2011 г. позволило первым двум переместиться из категории с отсутствием положительного воздействия в категорию со значительным и сильным положительным воздействием, значение индикатора в 2016 г. составило «0,27», «0,87» и «1,00», соответственно. ПЛМ Молодежное после увеличения площадей ООПТ в ПР Курортное, но без изменения площади охраняемых природных территорий в самом ПЛМ, понизил свою категорию.

В целом, с 2008 г. отмечается положительная динамика по индикатору охраняемых природных территорий, количество ПЛМ, относящихся к категории с отсутствием ООПТ сократилось в два раза с 10 до 5 (рисунок 4.14).

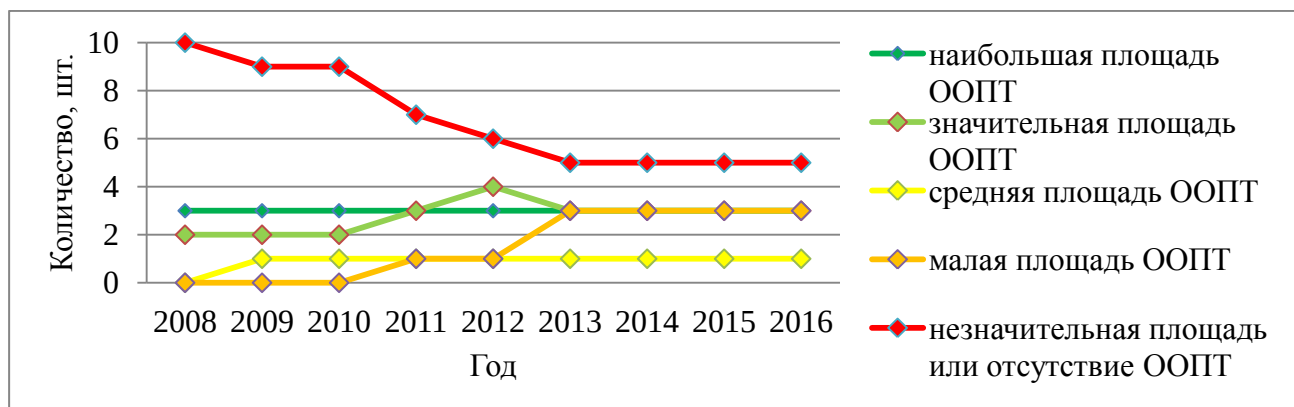


Рисунок 4.14 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индикатору охраняемых природных территорий в 2008–2016 гг.

Таким образом, развитие сети ООПТ в ПР и ПЛМ Санкт-Петербурга способствовало улучшению геоэкологической ситуации в ПЗ. Организация ООПТ в ПЛМ Кронштадт размером в 102 га привело к повышению значения индикатора и позволило его отнести к одной из лучших категорий. Схожее воздействие оказало проведение компенсаторных мер при строительстве аванпорта «Бронка», включающих в себя создание государственного природного заказника «Южное побережье Невской губы» кластеры которого расположены в ПЛМ Ломоносов и Петергоф.

Индекс компенсаторных мероприятий

Значение индекса компенсаторных мероприятий значительно изменялось в период 2008–2016 гг. (рисунок 4.15). Наибольший вклад в динамику изменения индекса внесло увеличение числа и площади ООПТ. Развитие сети ООПТ в ПЗ является одним из возможных компенсаторных мероприятий при реализации крупных гидротехнических проектов, ввиду необходимости сохранения мест обитания, нереста, гнездования и кормежки различных биотических компонентов геосистемы.

Отсутствие расходов на охрану окружающей среды либо их несопоставимо малое значение привело к тому, что значительное количество ПЛМ было отнесено к категории с минимальным объемом компенсаторных мероприятий.

Количество ПЛМ, входящих в категорию с отсутствием или минимальным положительным воздействием, с 2008 по 2016 гг. снизилось с 7 до 3 ПЛМ (рисунок 4.16), что в большей мере связано с увеличением сети ООПТ. Два из таких ПЛМ относятся к Невской губе:

Кронштадт и Ломоносов. При этом в данной категории остались ПЛМ Курортного ПР, на территориях которых не отмечено мероприятий по охране окружающей среды и развитие сети ООПТ.

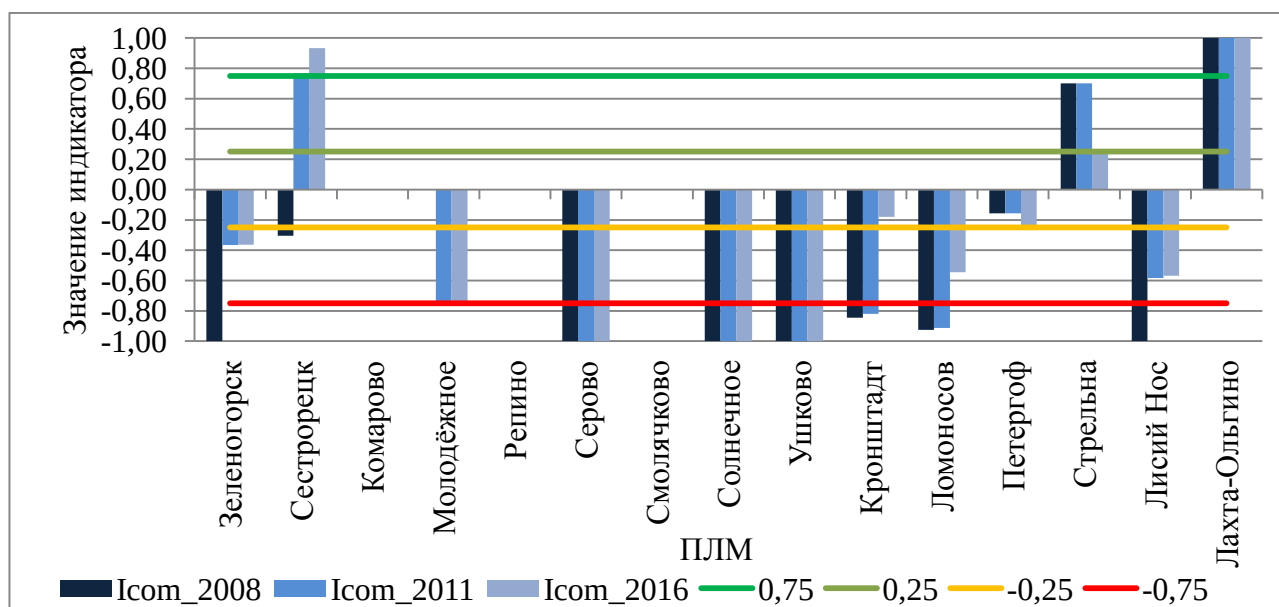


Рисунок 4.15 – Индекс компенсаторных мероприятий в ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

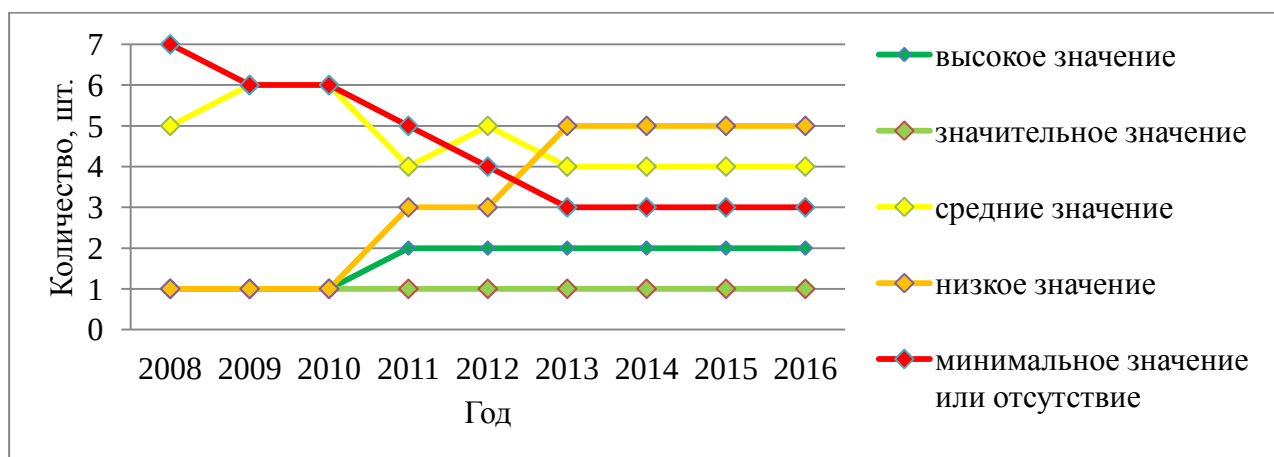


Рисунок 4.16 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индексу компенсаторных мероприятий в 2008–2016 гг.

В группе с максимальным положительным воздействием количество ПЛМ увеличилось с 1 до 2 в период 2008–2016 гг., при этом ПЛМ Лахта-Ольгино входил в указанную категорию на протяжении всего указанного периода.

Таким образом, в категорию с наихудшим значением индикатора компенсаторных мероприятий относятся ПЛМ без затрат на охрану окружающей среды и ООПТ. Увеличение

площади ООПТ или затрат на природоохранную деятельность приводит к перемещению ПЛМ в группу более высокого значения индекса.

4.1.3. Индекс экологической уязвимости прибрежной зоны

ПЛМ Невской губы по комплексному индексу экологической уязвимости ПЗ в период с 2008 по 2012 гг. относятся к четырём категориям воздействия на окружающую среду (рисунок 4.17). Лахта-Ольгино относится к наилучшей категории ввиду небольшого антропогенного воздействия и наличием природоохранной деятельности. В ПЛМ Лисий Нос отмечалась относительная низкая природоохранная деятельность на фоне минимальной антропогенной деятельности. Остальные ПЛМ Невской губы по состоянию на 2016 г. относились к категории с умеренной геоэкологической ситуацией в ПЗ, в значительной степени связанные с развитой морской деятельностью. Например, ПЛМ Ломоносов и Петергоф до 2012 и 2011 гг., соответственно, относились к категории с высоким антропогенным воздействием, после чего переместились в категорию с умеренным воздействием ввиду перераспределения антропогенного воздействия и увеличения компенсаторных мероприятий и в 2016 г. значение индекса составляет «-0,14» и «-0,24».

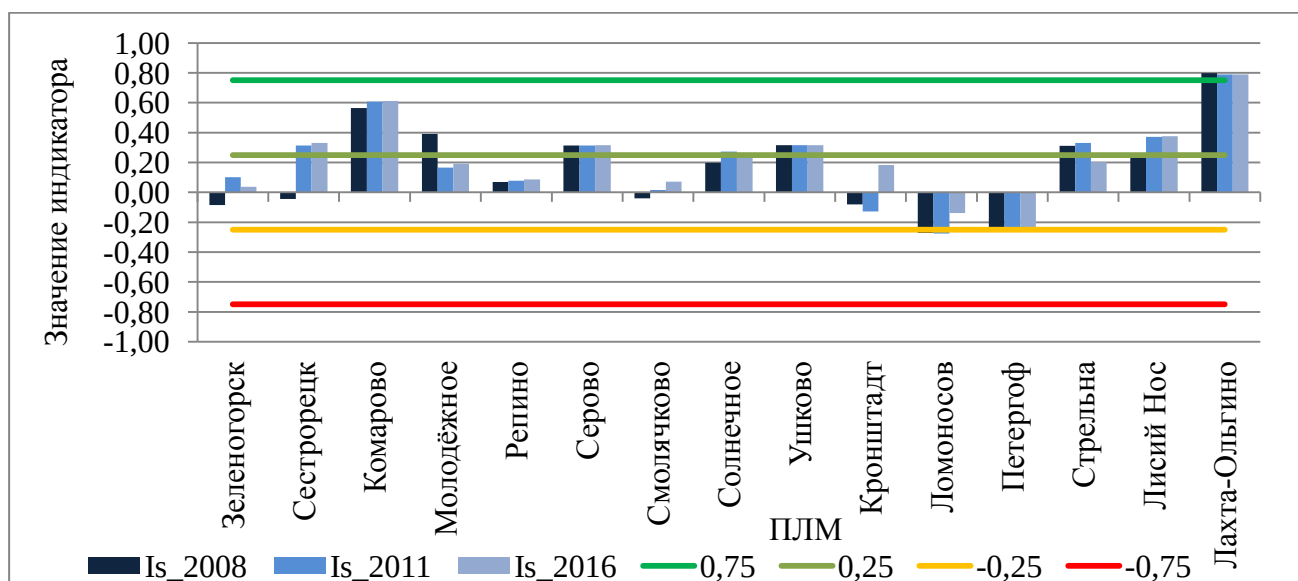


Рисунок 4.17 – Индекс экологической уязвимости ПЗ ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в 2008, 2011 и 2016 гг.

Для сравнения, ПЛМ Курортного ПР не попадают в группу с максимальными негативными или положительными воздействиями, где минимальное негативное воздействие от предприятий или отсутствием таковых уравнивается отсутствием ООПТ или затрат на окружающую среду.

Как показал проведенный анализ, ПЛМ может быть отнесен к категории с наилучшей геоэкологической ситуацией при минимальном антропогенном давлении, наличии ООПТ и расходов на охрану окружающей среды (рисунок 4.18). При значительном антропогенном давлении на геосистему ПЗ природоохранная деятельность частично улучшала ситуацию и наоборот. При низком антропогенном воздействии низкий уровень природоохранной деятельности приводил к снижению значения индекса.

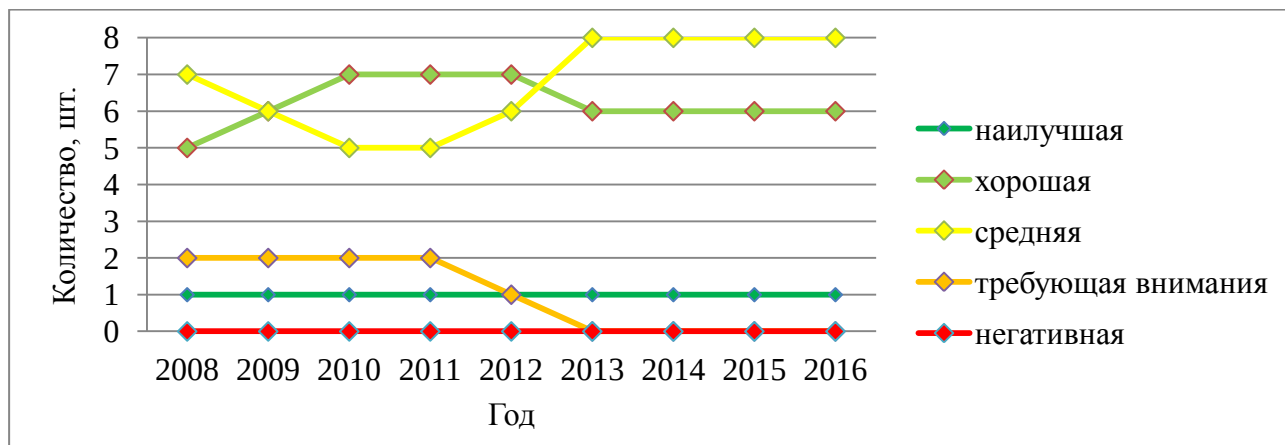


Рисунок 4.18 – Динамика изменения количества ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек в каждой группе по индексу экологической уязвимости ПЗ в 2008–2016 гг.

По рассчитанному значению индекса экологической уязвимости ПЗ 15 ПЛМ Санкт-Петербурга Невской губы и восточной части Финского залива

ПЛМ прибрежной зоны Невской губы и Курортного ПР по индексу экологической уязвимости могут быть классифицированы по шкале от стабильных до уязвимых (таблица 4.1). 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 случае пропорционального однонаправленного изменения ситуации в ПЛМ и ПР категория меняться не будет. При асинхронном однонаправленном или разнонаправленных изменений ПЛМ может переходить из одной категории в другую. Как показал проведенный анализ, переход ПЛМ по индексу экологической уязвимости ПЗ наблюдался в пределах соседних категорий.

Таким образом, наименее уязвима ПЗ в ПЛМ с минимальным антропогенным давлением, наличием относительно большой территорией ООПТ и относительно высокими значениями расходов на охрану окружающей среды. Наиболее уязвимыми являются ПЛМ с относительно низкими значениями индекса компенсаторных мероприятий и относительно высокой антропогенной нагрузкой. Перераспределение соотношения между ПЛМ и ПР, связанного с

изменением значений как числителя, так и знаменателя индикаторов и индексов, приводит к изменению значения относительной уязвимости ПЛМ.

Таблица 4.1 – Распределение ПЛМ Невской губы и Курортного ПР с численностью населения до 100 тыс. человек по индексу экологической уязвимости ПЗ в 2008–2016 гг.

ПЛМ	Категория геоэкологической ситуации								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
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
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. Цифровая и цветовая шкалы таблицы показывают категорию уязвимости ПЛМ: «1» (красный) – наиболее уязвимая геоэкологическая ситуация; «2» (оранжевый) – ситуация, требующая внимания; «3» (желтый) – умеренная ситуация; «4» (светло-зеленый) – хорошая ситуация; «5» (ярко зеленый) – наиболее стабильная ситуация. Голубым цветом отмечены ПЛМ Курортного района, фиолетовым – ПЛМ Невской губы с численностью до 100 тыс. человек

4.1.4. Корреляционная пространственно-временная зависимость индикаторов и индексов

Корреляционная зависимость рассчитана для оценки взаимосвязи между разработанным комплексом индикаторов и индексов для временного промежутка 2008–2016 гг. для 15 ПЛМ Санкт-Петербурга с численностью населения до 100 тыс. человек, из которых 6 ПЛМ расположены в ПЗ Невской губы и 9 – в восточной части Финского залива. Общая длина оцениваемого ряда составила 15 значений для каждого индикатора и индекса в каждом рассматриваемом году. Расчет корреляционной зависимости проводился для 6 индикаторов и 3 индексов для всех ПЛМ в период 2008–2016 гг.

К группе одного индикатора или индекса относятся расчеты между значениями по всем ПЛМ для каждого года во временном промежутке 2008–2016 гг. и определяется наличие связи

между годами. Состав группы одного индикатора или индекса представлен девятью рядами данных, где каждому ПЛМ соответствует одно значение для каждого года. Наличие тесной связи между индикаторами в пределах одной группы является подтверждением зависимости предыдущего года от последующего и показывает динамику развития ПЛМ. Данный подход может применяться при рассмотрении возможных сценариев развития состояния региона, в том числе – для оценки и прогнозирования геоэкологической ситуации в ПЗ.

Индикаторы

Внутри группы каждого индикатора в период 2008–2016 гг. наблюдалась тесная связь, в среднем составляющая «0,98». Типовое поведение взаимосвязи рядов данных внутри группы одного индикатора на основе расчетов коэффициентов корреляции приводится в таблице 4.2 на примере индикатора относительной плотности распределения предприятий. Значения предыдущего и последующего года имеют очень тесную взаимосвязь. При этом могут наблюдаться небольшие изменения при сохранении общей тенденции преемственности. Значения коэффициентов корреляции варьируются в пределах от «0,91» до «1,00». Ближайшие годы имеют, как правило, более тесную связь.

Таблица 4.2 – Корреляционная зависимость группы индикатора относительной плотности распределения предприятий в период 2008–2016 гг.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2008	1,00								
2009	1,00	1,00							
2010	0,98	0,98	1,00						
2011	0,97	0,98	0,99	1,00					
2012	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00				
2013	0,92	0,95	0,95	0,98	0,99	1,00			
2014	0,92	0,95	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00		
2015	0,94	0,96	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	
2016	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00

Исключением явилось корреляционное соотношение внутри группы индикатора охраняемых природных территорий. Среднее значение коэффициента корреляции составило «0,73» в период с 2008 по 2016 гг. Относительно низкое среднее значение коэффициента корреляции и его значительное изменение в указанный период связано с созданием нескольких ООПТ. Значительное изменение площадей ООПТ объясняет отсутствие значимой связи по индикатору охраняемых территорий между 2008 и 2016 гг. Значения коэффициента корреляции между 2008 и 2016 гг. составило «0,48» (таблица 4.3). При этом отмечается три значительных этапа в изменении площади ООПТ, что отразилось на оценке взаимосвязи рядов во временном промежутке, в 2011, 2012 и 2013 гг., когда были увеличены площади ООПТ, а коэффициент

корреляции при сопоставлении для указанных лет с 2008-м годом составил «0,64», «0,57» и «0,48», соответственно.

Таблица 4.3 – Корреляционная зависимость группы индикатора охраняемых природных территорий для периода 2008–2016 гг.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2008	1,00								
2009	0,97	1,00							
2010	0,97	1,00	1,00						
2011	0,64	0,66	0,66	1,00					
2012	0,57	0,58	0,58	0,91	1,00				
2013	0,48	0,49	0,49	0,84	0,93	1,00			
2014	0,46	0,49	0,49	0,84	0,93	1,00	1,00		
2015	0,47	0,50	0,50	0,85	0,93	1,00	1,00	1,00	
2016	0,48	0,49	0,49	0,85	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00

Между группами индикаторов значения коэффициентов корреляции варьировались « ± 0 », отражая отсутствие связи. Для ряда индикаторов наблюдалась неоднозначная зависимость, которая может быть отнесена как ложноположительная или отрицательная зависимость. Например, ложная значимая отрицательная зависимость наблюдалась для рядов значений индикатора относительной плотности предприятий и расходов на охрану окружающей среды, согласно которой при увеличении плотности предприятий расходы на охрану окружающей среды уменьшаются, что в целом противоречит правилам.

Следует отметить наличие корреляционной зависимости между группами индикаторов относительной плотности предприятий и выбросов в атмосферу. Значения коэффициентов корреляции варьировали в диапазоне от «0,45» до «0,68» в 2008–2016 гг. (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Значение коэффициентов корреляции между индикаторами относительной плотности распределения предприятий и выбросов в атмосферу в период 2008–2016 гг.

индикатора относительной плотности распределения предприятий I_{ED}	Индикатор выбросов в атмосферу, I_{EA}									
	год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	2008	0,61	0,57	0,57	0,59	0,61	0,63	0,66	0,66	0,66
	2009	0,59	0,55	0,55	0,57	0,59	0,60	0,63	0,63	0,64
	2010	0,64	0,59	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,67	0,68
	2011	0,58	0,54	0,53	0,55	0,58	0,59	0,62	0,62	0,63
	2012	0,58	0,53	0,53	0,55	0,56	0,58	0,61	0,60	0,61
	2013	0,53	0,48	0,48	0,50	0,51	0,52	0,55	0,54	0,55
	2014	0,53	0,47	0,47	0,49	0,50	0,52	0,55	0,54	0,55
	2015	0,55	0,49	0,49	0,51	0,52	0,55	0,57	0,57	0,58
	2016	0,51	0,45	0,45	0,47	0,48	0,50	0,52	0,52	0,53

Принимая во внимание особенности данных, входящих в расчет двух индикаторов, отбрасывать один из индикаторов нет необходимости. Количество предприятий, имеющих стационарные источники выбросов, и объем выбросов, производимых на предприятиях, могут как иметь значимую связь, так и не иметь ее. Например, наличие одного крупного предприятия с большим объемом выбросов в атмосферу не будет говорить о том, что при наличии в соседнем муниципалитете N-го количества предприятий со стационарными источниками произойдет пропорциональное изменение количества выбросов, производимых данными источниками.

Таким образом, отсутствие значимой корреляционной зависимости между индикаторами подтверждает разносторонность индикаторов, отражающих различные аспекты антропогенного влияния на геоэкологическую ситуацию в ПЗ ПЛМ.

И н д е к с ы

Для оценки правильности разделения индикаторов по индексам негативного и положительного воздействия был рассчитан коэффициент корреляции между указанными индексами. Кроме того, был выявлен наибольший вклад в комплексный индекс положительных и отрицательных антропогенных воздействий на окружающую среду.

В результате проведенных расчетов была выявлена значимая прямая связь между значениями внутри группы каждого из индексов, среднее значение коэффициента корреляции составило от «0,88» до «0,99» во временном промежутке 2008–2016 гг.

Наибольшее среднее значение коэффициента корреляции отмечается внутри группы индекса негативного воздействия «давления» на окружающую среду, составив «0,99», общий разброс при расчете коэффициента 2008 г. при сопоставлении с рядами 2009–2016 гг. составил от «0,99» до «1,00» (таблица 4.5), соответственно, и при сравнении ряда 2016 г. со значениями 2008–2015 гг. составил от «0,98» до «1,00», соответственно.

Таблица 4.5 – Корреляционная зависимость между группой индекса негативного воздействия «давления» на окружающую среду во временном промежутке 2008–2016 гг.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2008	1,00								
2009	1,00	1,00							
2010	0,99	1,00	1,00						
2011	0,99	1,00	1,00	1,00					
2012	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00				
2013	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00			
2014	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00		
2015	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	
2016	0,99	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Наибольшая значимая прямая зависимость наблюдается между индексом негативного воздействия «давления» на окружающую среду и индексом комплексного антропогенного воздействия (таблица 4.6). Значения коэффициентов корреляции варьируются в пределах от «0,65» до «0,75». Таким образом, определяющий вклад в формирование комплексного индекса производится антропогенной деятельностью, которая оказывает негативное воздействие на состояние окружающей среды.

Таблица 4.6 – Корреляционная зависимость между индексом негативного воздействия «давления» на окружающую среду и комплексным индексом для периода 2008–2016 гг.

Индекс негативного воздействия «давления», I_{NP}	Индекс экологической чувствительности прибрежной зоны, I_S									
	год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	2008	0,71	0,71	0,72	0,68	0,66	0,70	0,71	0,70	0,70
	2009	0,73	0,74	0,74	0,69	0,66	0,70	0,71	0,70	0,70
	2010	0,72	0,72	0,73	0,68	0,65	0,69	0,70	0,69	0,69
	2011	0,73	0,73	0,74	0,69	0,66	0,70	0,71	0,70	0,70
	2012	0,73	0,74	0,75	0,68	0,66	0,70	0,71	0,70	0,70
	2013	0,73	0,74	0,75	0,68	0,66	0,70	0,71	0,70	0,71
	2014	0,73	0,73	0,74	0,67	0,66	0,69	0,71	0,69	0,70
	2015	0,73	0,72	0,73	0,66	0,65	0,69	0,70	0,69	0,69
	2016	0,73	0,73	0,74	0,65	0,65	0,69	0,70	0,69	0,69

Индекс компенсаторных мероприятий от воздействия на окружающую среду имеет незначимую или слабую обратную зависимость со значением индекса негативного влияния. Значения коэффициентов корреляции варьируют в пределах от «-0,44» до «-0,23» в период 2008–2016 гг., что подтверждает разделение индикаторов на соответствующие группы и формирование индексов.

Таким образом, разработанная комплексно-индикаторная система ОГСПЗ ПЛМ, не имеет дублирующих индексов, что исключает использование излишней информации при оценке геоэкологической ситуации. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции для индексов отражают разделения индикаторов по группам положительного и отрицательного воздействия.

4.2. Результаты лабораторного эксперимента по определению уязвимости биологических компонентов геосистемы к проведению гидротехнических работ

Определение уязвимости биологических компонентов геосистемы к проведению гидротехнических работ позволяет оценить выносливость компонентов экосистем к нарушению биотопа и восприимчивость к антропогенному воздействию видов, непосредственно

обитающих в условиях места проведения работ. Лабораторные исследования проводились на грунтах с побережья Невской губы (серии работ с песком), донным грунтом Невской губы (токсичный грунт) и донным грунтом восточной части Финского залива (серии работ с донным грунтом, отобранном в районе ПЛМ Приморск).

Все виды макрофитов и мотыль *Ch. plumosus* являются типичными для экосистемы Невской губы, подробное описание приведено в разделе 3.5.1.

Проведение лабораторного исследования на природных грунтах с использованием видов, типичных для региона, позволяет оценить степень возможного негативного воздействия на геосистему Невской губы при проведении гидротехнических работ.

Серии лабораторных экспериментов проведены для наиболее уязвимых к гидротехническим работам компонентов геосистемы Невской губы, представленных сообществами макрозообентоса и макрофитов.

4.2.1. Характеристика грунтов

Для проведения лабораторных экспериментов использовались природные грунты, отобранные со дна Невской губы и восточной части Финского залива, полученные в ходе мониторинга воздействия гидротехнических работ на окружающую среду.

Гранулометрический состав используемых грунтов при проведении серий экспериментов с природным донным нетоксичным грунтом представлен на рисунке 4.19.

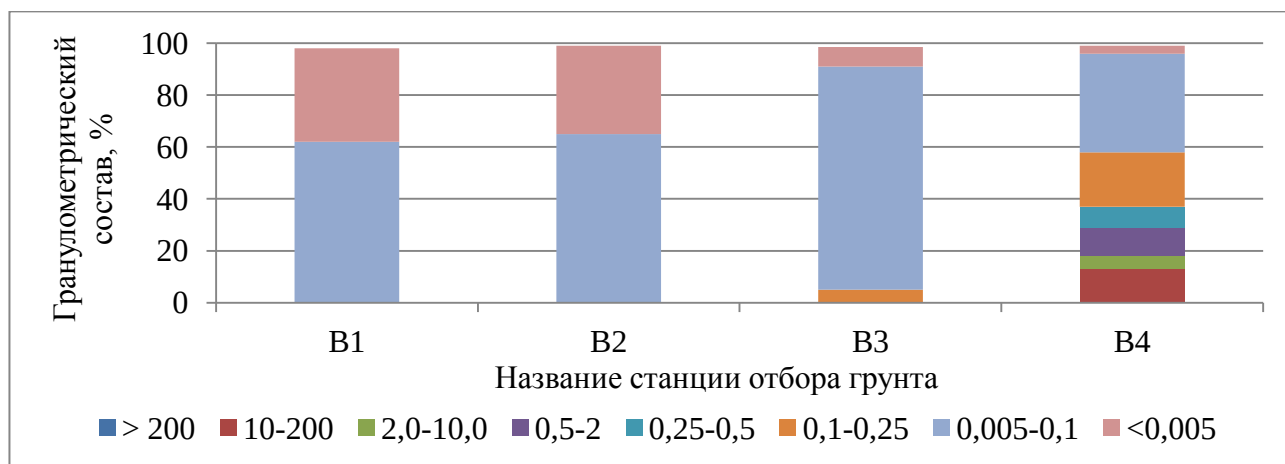


Рисунок 4.19 – Гранулометрический состав грунтов, использованный в лабораторных экспериментах, мм

В таблице 4.7 приведены значения концентраций загрязняющих веществ в донных грунтах естественного происхождения, изъятых при проведении мониторинговых работ в районе порта Приморск (восточная часть Финского залива).

Таблица 4.7 – Содержание химических элементов в естественных грунтах восточной части Финского залива [202]

Показатель	Единицы измерения	Грунт 1. пылеватый песок+глина 62/36 %	Грунт 2. пылеватый песок +глина 65/34 %	Грунт 3. пылеватый песок +глина 86/7,5 %	Грунт 4. пылеватый песок +глина 38/3 %
Нефтепродукты	мг/кг	606,061	566,667	375,000	175,000
Свинец	мг/кг	38,151	38,003	12,721	7,720
Мышьяк	мг/кг	3,028	3,105	2,161	1,570
Цинк	мг/кг	94,822	89,064	61,265	45,000
Медь	мг/кг	35,558	36,638	16,710	9,180
Никель	мг/кг	17,569	17,409	12,421	8,310
Кадмий	мг/кг	1,199	1,117	0,476	0,200
Хром	мг/кг	50,970	50,650	20,018	11,760
Ртуть	мг/кг	0,221	0,244	0,066	0,032

Согласно [78] грунты 1–3 (B1–B3) относятся к слабозагрязненным, грунт 4 (B4) – к чистым.

4.2.2. Результаты лабораторных исследований с донными макрофитами

Определение воздействия гидротехнических работ на прибрежную растительность, представленную двумя видами водорослей, проводилось на грунте 3. Грунт относится к категории «пылеватый песок», соотношение фракций с диаметром частиц более 0,005 мм составляет 86 %, содержание глинистых частиц – 7,5 %. По химическому составу грунты относятся к категории слабозагрязненных (по нефтепродуктам), содержание тяжелых металлов не превышает значение «чистые» по региональному нормативу Санкт-Петербурга «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга».

Уязвимость макрофитов к гидротехническим работам проводилась по факторам устойчивости к перекрытию грунтом и повышенной мутности. Влияние гранулометрического состава грунтов на макрофиты не учитывалось.

В ходе эксперимента было отмечено ухудшение состояния роголистника темно-зеленого *Ceratophyllum demersum* в обоих аквариумах. Через 7 дней после начала эксперимента отмечалось ухудшение состояния роголистника в обоих аквариумах. Кроме того, в «мутном» аквариуме наблюдалось перекрытие слоевища роголистника тонкодисперсными частицами, осаждающимися из водной толщи. К концу эксперимента до 2/3 слоевища *C. demersum* отмерла, на сохранившихся частях слоевища отмечалось образование черных пятен (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Воздействие повышенной концентрации механической взвеси на прибрежную растительность

Название Номер точки	До экспозиции			После экспозиции		
	Размер, см	Количество отростков, шт.	Длина отростков, см	Размер, см	Количество отростков, шт.	Длина отростков, см
«Прозрачный» аквариум (без взвеси)						
<i>C. demersum</i> 1	23	6	3,5 10 5 4,5 5,2 9	Разрушение слоевища		
<i>C. demersum</i> 2	11	3	6 9 2	Разрушение слоевища		
<i>C. demersum</i> 3	16	5	4,5 9,5 4 6,5 8	Отросток, длиной 4,5 см разрушен, остальная часть изменилась (потерял начальный цвет, отмечается небольшое количество частиц тонкодисперсных, осажденных на слоевище)		
<i>E. canadensis</i> 1	13	—	—	34	1	2 (корень 11 см)
<i>E. canadensis</i> 2	11	—	—	11,5	1	2
<i>E. canadensis</i> 3	10	4	11,5 15 9	13	3	12 28 11
«Мутный» аквариум мутный (со взвесью)						
<i>C. demersum</i> 1	13	5	2,5 3,5 1 1,3 1,5	Разрушение слоевища		
<i>C. demersum</i> 2	45	8	5 3 4 4,5 4,5 5 2 3,5	Практически не изменился		

Продолжение таблицы 4.8

Название Номер точки	До экспозиции			После экспозиции		
	Размер, см	Количество отростков, шт.	Длина отростков, см	Размер, см	Количество отростков, шт.	Длина отростков, см
<i>C. demersum</i> 3	15	5	6 5,5 2 6 7	Разрушение слоевища		
<i>E. canadensis</i> 1	6	—	—	7	1	1
<i>E. canadensis</i> 2	24	—	—	30	—	—
<i>E. canadensis</i> 3	12,5	—	—	12,5	2	1,5 4,5

На рисунках 4.20–4.25 показан ход эксперимента по определению воздействия взвеси на донные макроводоросли – роголистник погружённый *C. demersum* и элодею канадскую *E. canadensis*. Слева – аквариум с взмученной водой, справа – аквариум с прозрачной водой.

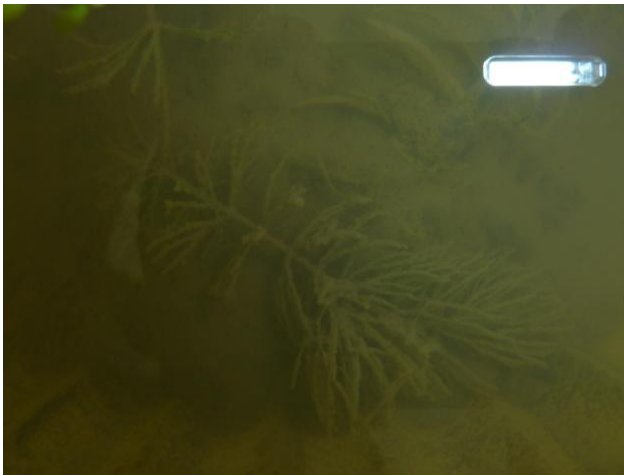


Рисунок 4.20 – *C. demersum* в день начала эксперимента слева – «мутный» аквариум, справа – «прозрачный» аквариум

Элодея *E. canadensis* продолжала вегетировать в обоих аквариумах. В первом («прозрачном») аквариуме наблюдался интенсивный прирост элодеи (таблица 4.8). Во втором («мутном») аквариуме прирост был менее выражен; наблюдалось сильное заиливание водорослей (рисунок 4.22 в, г). На листьях отчетливо прослеживался иловый осадок, оседавший на слоевища после взмучивания мелких фракций грунта.



Рисунок 4.21 – *C. demersum* после 7 дней эксперимента: слева – «мутный» аквариум, справа – «прозрачный» аквариум



А



Б



В



Г

Рисунок 4.22 – Донные макрофиты через 18 дней после начала эксперимента А) *C. demersum* – «мутный» аквариум, Б) *C. demersum* – «прозрачный» аквариум, В) *E. canadensis* – «мутный» аквариум, Г) *E. canadensis* – «прозрачный» аквариум



Рисунок 4.23 – *C. demersum* в день окончания эксперимента (25-й день): слева – «мутный» аквариум, справа – «прозрачный» аквариум



Рисунок 4.24 – *C. demersum* в день начала эксперимента (слева) и в день окончания эксперимента (справа) в «прозрачном» аквариуме



Рисунок 4.25 – *E. canadensis* в день окончания эксперимента в «мутном» аквариуме (слева) и «прозрачном» (справа)

4.2.3. Результаты лабораторных исследований с макрозообентосом

В настоящем разделе представлены результаты проведения экспериментальных работ по уязвимости на различных грунтах с различной частотой засыпания мотыля *Chironomus plumosus*, являющимся типичным представителем бентосного сообщества восточной части Финского залива и Невской губы.

Песчаные грунты

Серия опытов с мотылем *Ch. plumosus* на песчаных грунтах проводилась при двух вариантах количества засыпаемого грунта. В первой серии принималось предположение о том, что шаланда сбрасывает грунт три раза в день с интервалом в 3 часа. Исследуемые организмы находятся в поле воздействия поля мутности за пределами отвала, что соответствует натурным наблюдениям. Во второй серии проводился сброс грунта толщиной 2 см каждые 4 часа. Каждый опыт был проведен с трехкратной повторностью.

Серия 1. Песчаный грунт 1х3х3

В результате исследований установлено, что при засыпке мотыля 1 см песка каждые три часа до 95 % случаев на поверхность выбирались все особи. В ходе эксперимента показано, что скорость появления особей на поверхности происходит неравномерно, в первый час выкапывалось 50–70 % особей, после чего скорость снижалась (рисунок 4.26).

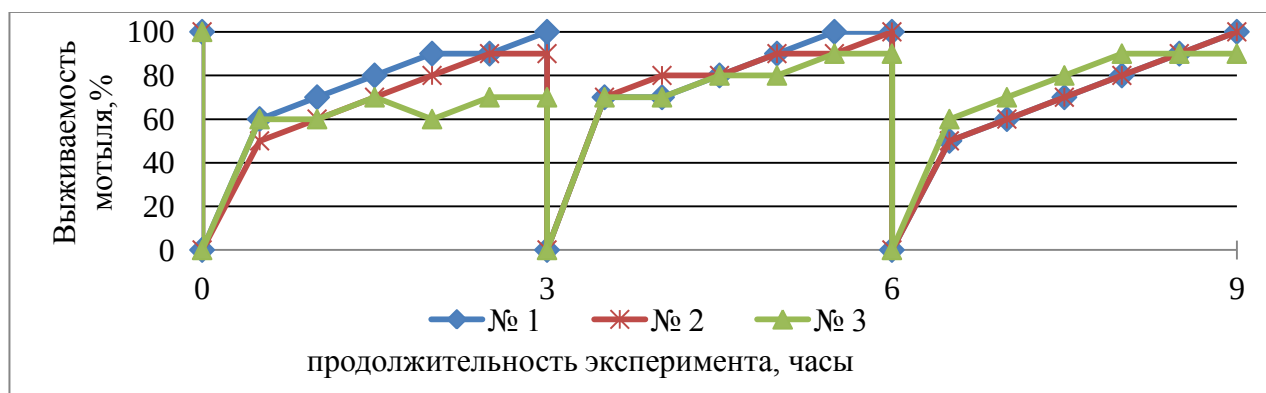
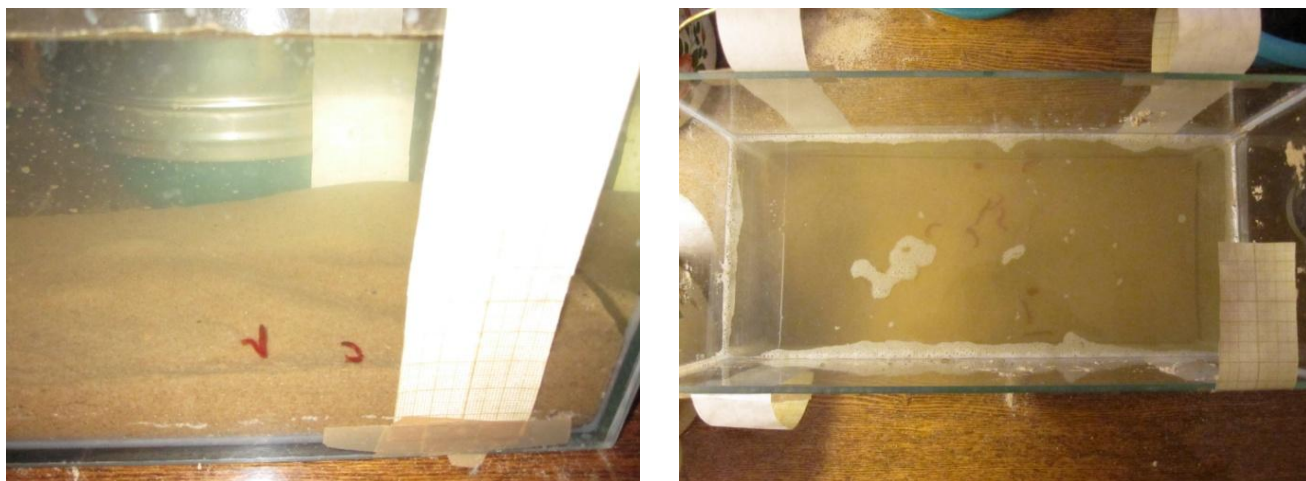


Рисунок 4.26 – График выживаемости мотыля при засыпке песком 1 см, каждые 3 часа, 3 раза в день

Серия 2. Песчаный грунт 2х4х3

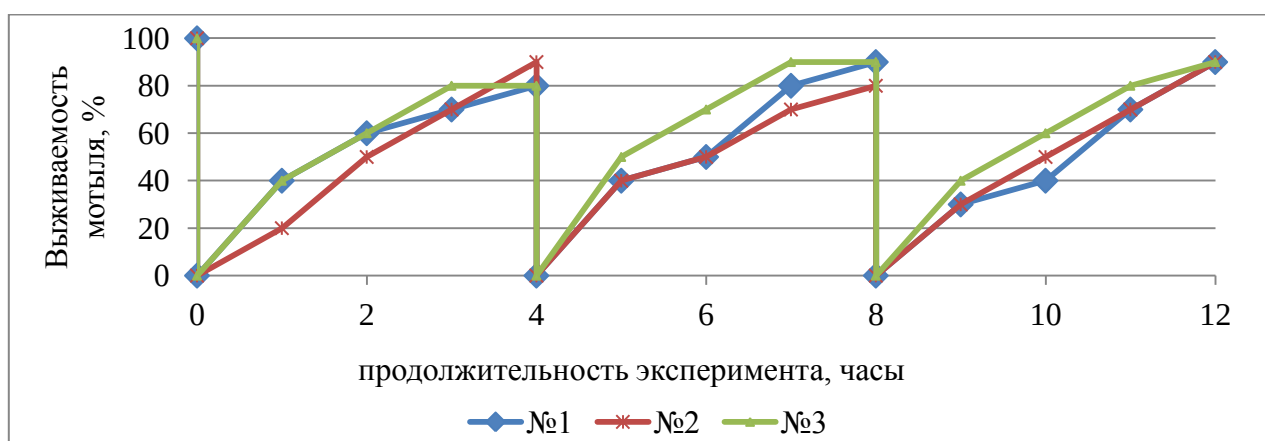
При засыпании мотыля слоем песка в 2 см каждые 4 часа его выживаемость составила в среднем 87 %. В первый час эксперимента количество *Ch. plumosus* снизилось до 20–40 % от изначального количества экземпляров. Дальнейшее выкапывание особей (рисунок 4.27) носило преимущественно равномерный характер, однако, через 4 часа составляло не более 90 % от изначального количества (рисунок 4.28).



А

Б

Рисунок 4.27 – Ход эксперимента: А – вид сбоку на аквариум; Б – вид сверху на аквариум

Рисунок 4.28 – График выживаемости *Ch. plumosus* при засыпке песком 2 см, каждые 4 часа, 3 раза в день

Пылеватые супесчаные и глинистые грунты

Проведение серий лабораторных исследований с пылеватыми супесчаными и глинистыми природными грунтами проводилось для разных по временному промежутку перекрытию грунтом и разной частотой от 3 часов до 1 суток между последующим перекрытием, определяя разную чувствительность мотыля *Ch. plumosus* к проведению гидротехнических работ.

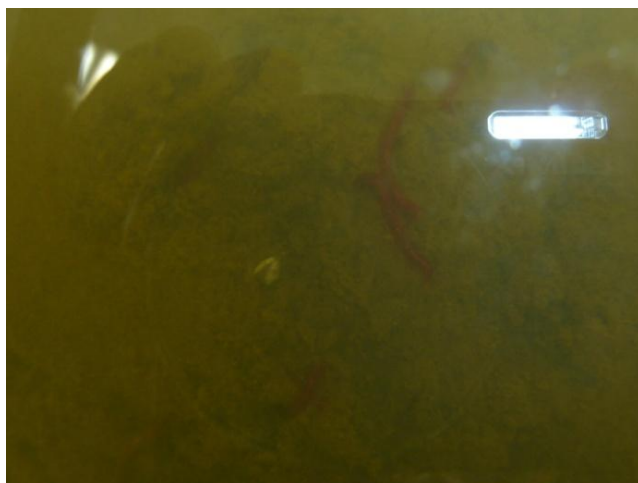
За сутки до начала эксперимента *Ch. plumosus* был посажен в акклиматизационную емкость, заполненную токсичным грунтом и перекрытую слоем пресной отстоявшейся воды (рисунок 4.29). На следующий день более 85 % мотыля были живы и вели активный образ жизни.



Рисунок 4.29 – *Ch. plumosus* после 1 суток, проведенных в емкости для акклиматизации с токсичным грунтом

Для проведения эксперимента были отобраны активные особи, которые были распределенные по аквариумам для проведения экспериментов на различных грунтах и с разной повторяемостью перекрытием грунтом. Ниже представлены результаты экспериментов. Серия 3. Токсичный грунт 1х3х2

В результате проведения эксперимента после первого перекрытия грунтом мотыля *Ch. plumosus* через 4 часа на поверхности и в верхнем 0,5 см слое отмечалось 10 % особей от начального количества, ведущих активный образ жизни (рисунок 4.30).



А



Б

Рисунок 4.30 – Проведение эксперимента с токсичным грунтом: А – *Ch. plumosus* посаженный в грунт до начала проведения эксперимента, Б – аквариум с токсичным грунтом, через 5 часов после начала эксперимента

После повторного перекрытия мотыля через 3 часа после начала эксперимента вторым слоем грунта, толщиной 1 см, отмечалось более активное появление организмов на

поверхности, однако суммарное количество особей, преодолевших грунт толщиной 2 см, составило 15 %. Через час после окончания эксперимента не было отмечено дополнительного количества особей, выбравшихся на поверхность (рисунок 4.31).

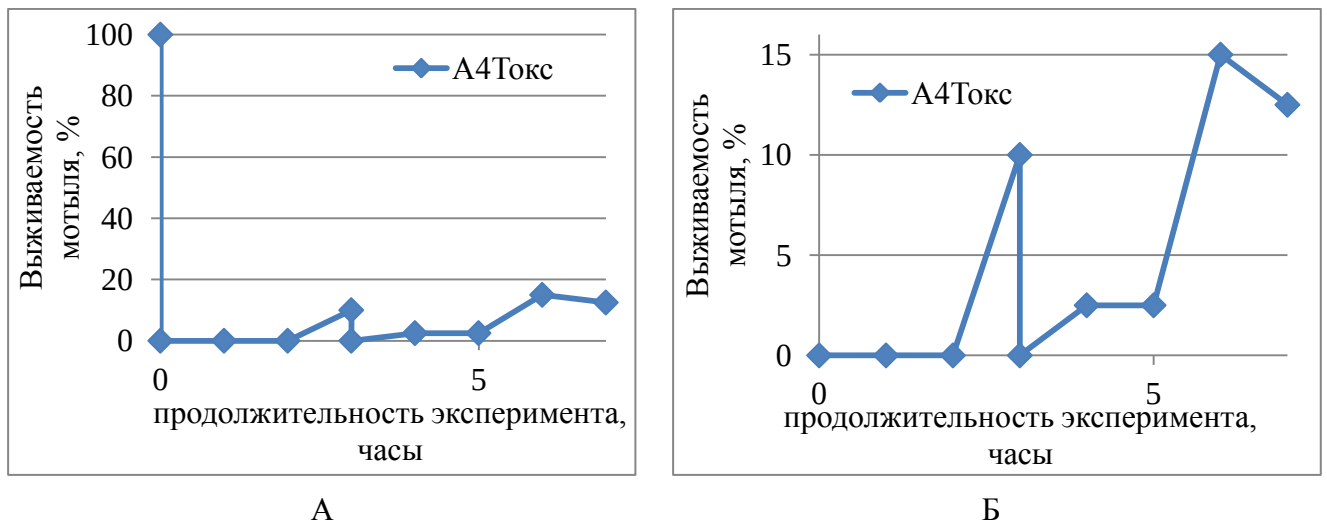


Рисунок 4.31 – График выживаемости *Ch. plumosus* при перекрытии дна токсичным грунтом слоем 1 см каждые 3 часа: А – с учетом общего количества мотыля, Б – без учета исходного количества мотыля

Общее количество мотыля, преодолевшего перекрытие тонкодисперсным грунтом слоем 2 см, составило 15 %.

Серия 4. Слабозагрязненный грунт 2х3х2

Эксперимент был проведен для двух типов грунтов, загрязненных нефтепродуктами, медью и кадмием (грунты 1–2) и нефтепродуктами (грунт 3). Превышения между показателями качества грунта различалось в основном в 2–3 раза между грунтами с меньшими значениями по всем показателям с грунтом 3. Ход эксперимента показан на рисунок 4.32.

Как видно из рисунка 4.33, химический состав в меньшей степени повлиял на выживаемость *Ch. plumosus*, чем гранулометрический состав и консистенция сбрасываемого грунта. В обоих случаях грунт осаждался на дно плотным слоем, перекрывая бентосные организмы, вплоть до удушения или повреждения организмов. Однако грунт с преобладающей фракцией пылеватого песка через 3 часа после начала эксперимента оказался легче преодолимым.

Из общего количества организмов максимальное значение выбравшихся составило 8 % после первого перекрытия грунтом и 7 % после второго (рисунок 4.33).



А



Б

Рисунок 4.32 – Появление особей мотыля на поверхности через слой слабозагрязненного грунта в 2 и 4 см, А и Б, соответственно

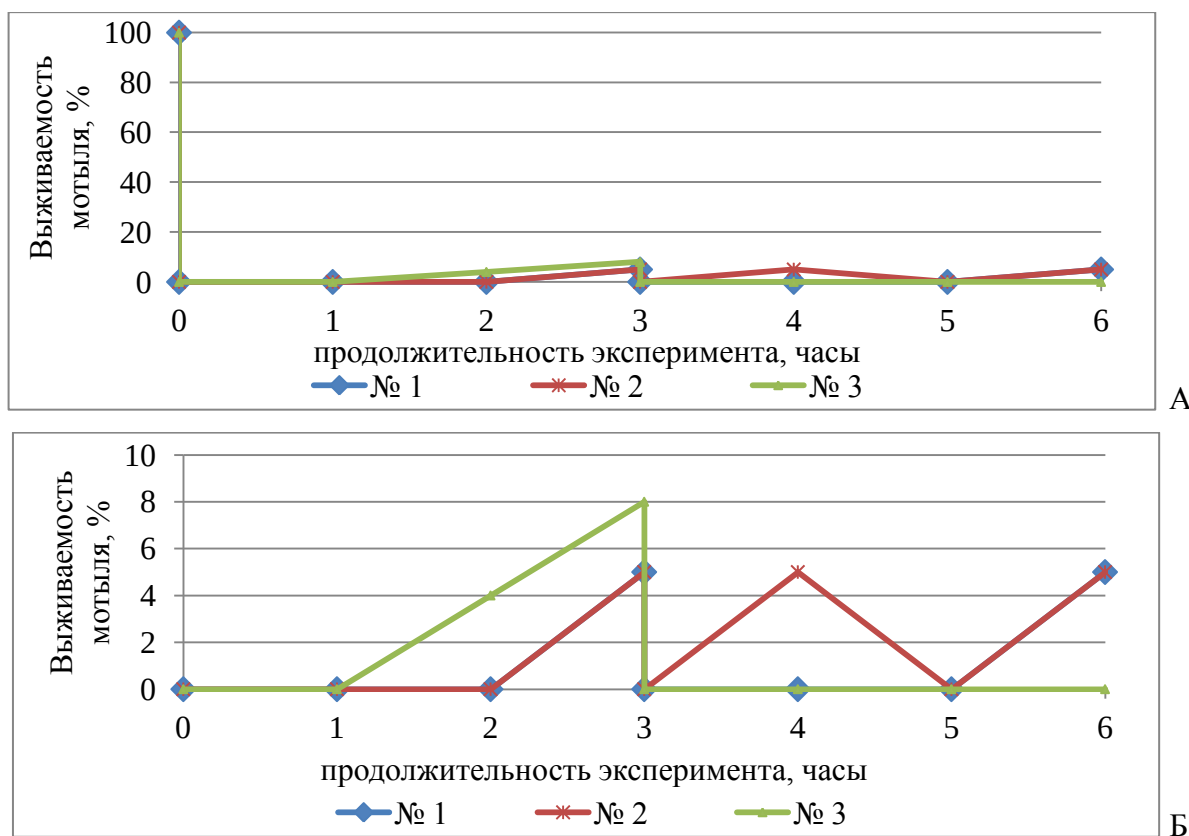


Рисунок 4.33 – График выживаемости *Ch. plumosus* при перекрытии дна слабозагрязненным грунтом слоем 2 см каждые 3 часа: А – с учетом общего количества *Ch. plumosus*, Б – график динамики выживаемости *Ch. plumosus* в ходе эксперимента

Серия 5. Токсичный грунт 2х1х2

При засыпании токсичным грунтом 1 раз в сутки, толщиной 2 см грунта на следующий день вышло на поверхность от 10 до 20 % *Ch. plumosus*. После второго засыпания грунтом

на поверхности на следующие сутки выбрались от 20 до 40 % выживших особей, тогда как через 60 часов после начала эксперимента живыми оставалось от 20 до 70 % мотыля (рисунок 4.34).

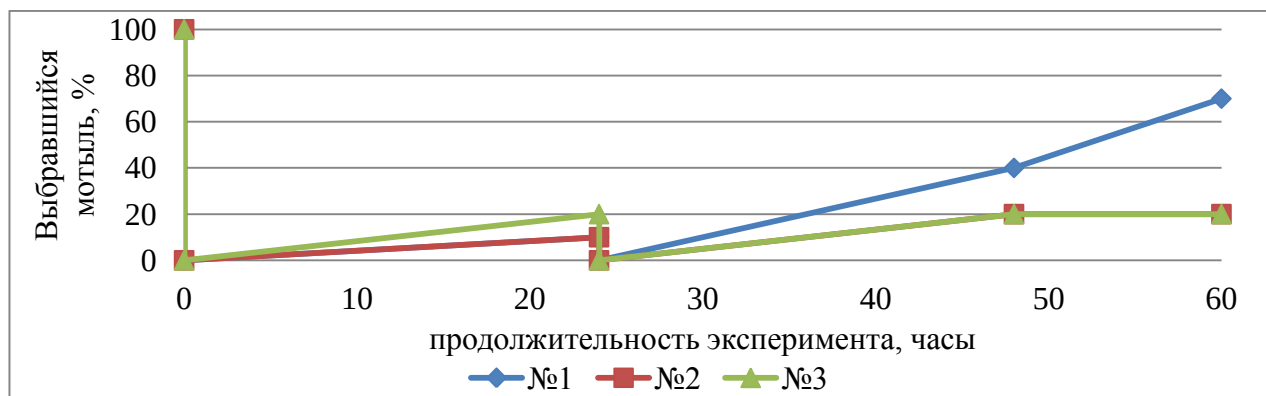


Рисунок 4.34 – График процентного соотношения выжившего мотыля *Ch. plumosus* через 60 часов после начала эксперимента на токсичном грунте

Серия 6. Слабозагрязненный грунт 2х1х2

Эксперимент проводился с грунтом 1, состоящим из 62 % пылеватой песчаной фракции и 36 % глинистой фракции, загрязненной нефтепродуктами и кадмием. На рисунке 4.35 представлен график зависимости выживаемости *Ch. plumosus* к засыпанию слабозагрязненным грунтом. В среднем на третий день эксперимента на поверхность выбрались не более 10 % особей *Ch. plumosus* (рисунок 4.35).

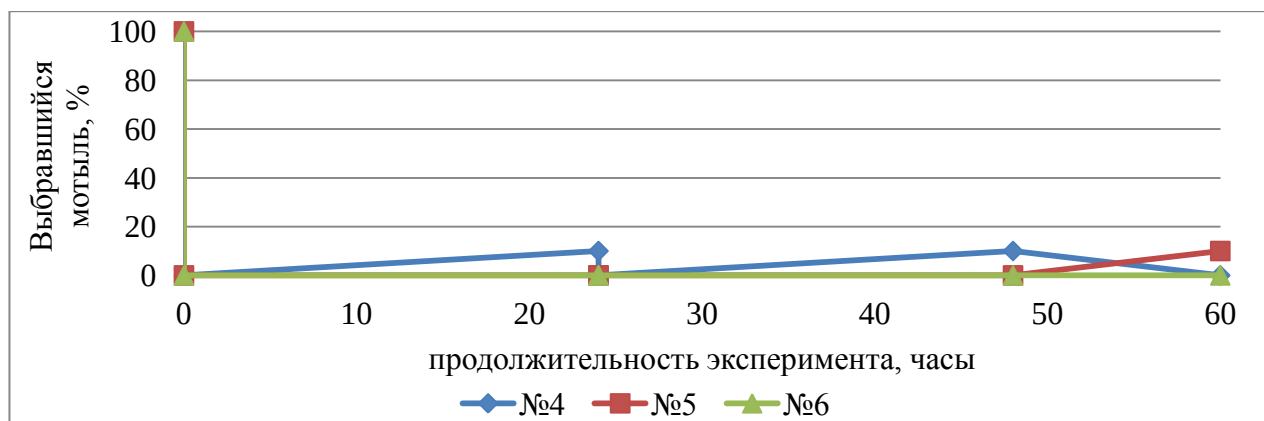


Рисунок 4.35 – График процентного соотношения выжившего мотыля *Ch. plumosus* через 60 часов после начала эксперимента на слабозагрязненном грунте

Появление особей в приповерхностном слое грунта наблюдалось неравномерно во всей серии, однако общее количество находилось на одном порядке.

Серия 7. Слабозагрязненный грунт 2х1х2

Эксперимент проводился на грунте 3, загрязненном нефтепродуктами и состоящим из 86 % пылевой песчаной фракции и 7,5 % глинистой. Чувствительность мотыля к перекрытию грунтом с преобладающей фракцией пылеватых песков, слабозагрязненным нефтепродуктами, была ниже, чем грунтами с большим содержанием глинистых частиц. Наибольшее количество особей, появившихся на поверхности, составило до 40 % на второй день эксперимента и составило от 20 до 30 % по окончании эксперимента (рисунок 4.36).

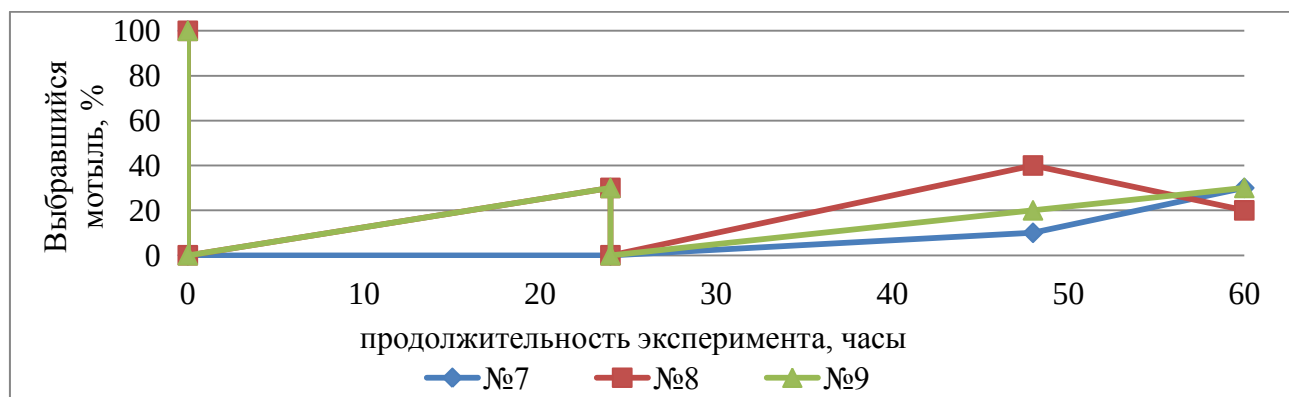


Рисунок 4.36 – График процентного соотношения выжившего мотыля *Ch. plumosus* через 60 часов после начала эксперимента на слабозагрязненном грунте с содержанием 86 % пылевой песчаной фракции

Серия 8. Чистый грунт 2х1х2

Наиболее активно преодолевал мотыль толщу засыпаемого грунта, представленного пылевой песчаной фракцией и минимальным содержанием глины из всех представленных грунтов, имеющих смешанный гранулометрический состав (рисунок 4.19). Через 24 часа после первого перекрытия мотыля толщей грунта на поверхности оказалось от 20 до 60 % особей, тогда как к окончанию эксперимента это количество достигало 10 % до 70 % (рисунок 4.37).

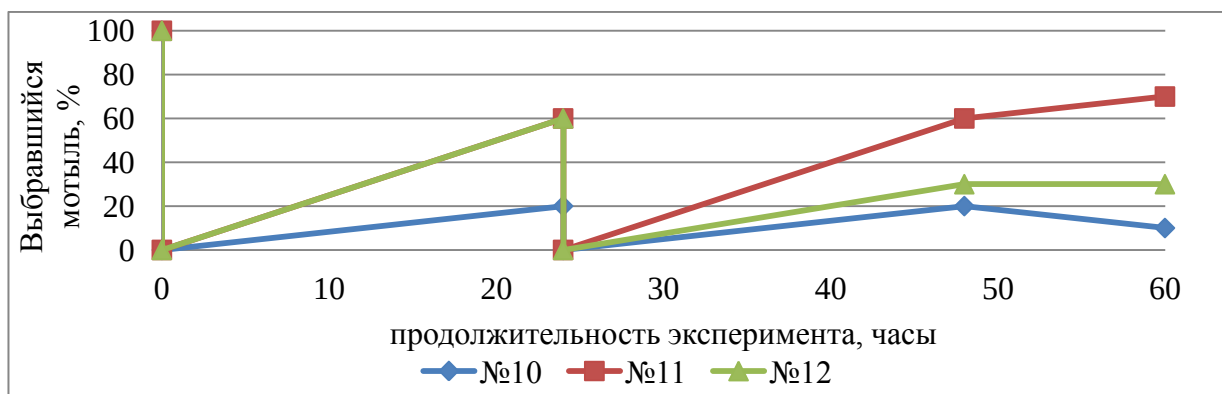


Рисунок 4.37 – График процентного соотношения выжившего мотыля *Ch. plumosus* через 60 часов после начала эксперимента на чистом грунте

Выводы по лабораторным экспериментам

В результате проведенных лабораторных исследований показано, что уязвимость компонентов экосистем к проведению гидротехнических работ зависит от гранулометрического состава донных отложений, периодичности нарушения биотопа и толщины перекрытия дна.

Наибольшее воздействие на уязвимость донных макрофитов восточной части Финского залива и Невской губы к гидротехническим работам оказывают увеличение мутности, снижение фотосинтеза и перекрытие слоевищ, особенно при наличии тонкодисперсных частиц, осаждение которых занимает длительное время, а сами частицы практически не перемещаются со слоевищ под действием силы тяжести, накапливаясь на них. Данное воздействие приводит к уменьшению фотосинтетической способности и приводит к замедлению, а в случае продолжительных работ – к приостановке роста донных макрофитов. Так, потери в приросте макрофитов в течение месяца могут составлять до нескольких сотен процентов в зависимости от вегетативного сезона.

Уязвимость бентосных организмов зависит от количества грунта, которым перекрываются донные беспозвоночные, его гранулометрического состава и плотности. Эти характеристики грунта оказывают существенное влияние на выживаемость донных организмов при проведении гидротехнических работ.

Несмотря на то, что *Ch. plumosus* является относительно жизнестойким видом при воздействии гидротехнических работ, способным преодолевать небольшую толщу грунта, его уязвимость зависит в первую очередь от частоты, гранулометрического состава и толщины перекрытия.

При сбросе грунта часть особей может быть «отброшена» турбулентным потоком из зоны работ, что способствует их выживанию (серия 1–2), тогда как в ограниченном пространстве особи с большей вероятностью будут повреждены, что сделает их выживание затрудненным или приведет к гибели (серия 4).

При увеличении содержания глинистых частиц в донных грунтах способность выбираться на поверхность у личинок *Ch. plumosus* снижается даже при перекрытии 2 см грунта ежедневно (серии 6–8).

Кроме того, уязвимость к проводимым гидротехническим работам зависит от временного интервала между сбросом грунта. В ходе лабораторных исследований отмечено, что личинки мотыля способны преодолевать толщу грунта в 4 см при однократном размещении грунта по 2 см ежедневно, но при перерыве между сбросами в несколько дней (серии 5–8). При ежедневных сбросах будет наблюдаться ослабление популяции вплоть до полного прекращения способности к преодолению толщи грунта.

Зависимость между содержанием глинистой фракцией в грунтах отмечается во всех сериях. При увеличении содержания глинистых частиц уязвимость к перекрытию и способность мотыля к преодолению толщи грунта заметно снижаются. Плотный грунт может приводить к механическим повреждениям и удушению здоровых активных особей, что делает невозможным выживание даже при перекрытии слоем грунта в 2 см (например, серия 4).

Сброс токсичного грунта будет оказывать действие на способность мотыля к преодолению толщи грунта путем ослабления жизнеспособности организмов за счет их постепенного отравления. Однако при однократно воздействии способность к выживанию может оставаться сопоставимой с таковой при воздействии чистых и слабозагрязненных грунтов (серии 3 и 5).

Полученные результаты легли в основу выбора индикаторов и индексов ОГСПЗ при проведении гидротехнических работ.

4.3. Результаты использования комплексно-индикаторного подхода для оценки геоэкологической ситуации в прибрежной зоне при проведении гидротехнических работ

В настоящем разделе приводятся результаты ОГСПЗ при реализации гидротехнического проекта на примере строительства ММПК «Бронка», первой (МК-1) и второй (МК-2) очереди строительства подходного канала.

Строительство аванпорта «Бронка» осуществлялось в г. Ломоносов Петродворцового района Санкт-Петербурга в период с 2011 по 2017 гг. Гидротехнические работы по созданию подходных каналов проводились в водной части ПЗ вблизи двух ПЛМ Петродворцового ПР: Ломоносов и Кронштадт.

Индикатор временного загрязнения атмосферы

Расчет индикатора осуществлялся для ПЛМ Ломоносов и Кронштадт для каждого года в двух вариантах (таблица 4.9):

- при сопоставлении объемов выбросов при производстве гидротехнических работ для каждого этапа и году строительства с выбросами только от стационарных источников;
- для суммы выбросов от стационарных и передвижных источников загрязнения.

Разброс значений индикатора при сопоставлении двух вариантов связан с тем, что основную долю выбросов загрязняющих веществ, до 85 %, в Санкт-Петербурге составляют передвижные источники загрязнения. В случае учета только стационарных источников загрязнения индикатор принимает отрицательные значения, являясь показателем того, что до начала проведения гидротехнических работ значение выбросов в атмосферу в ПЛМ было ниже,

чем количество выбросов от дноуглубительной техники, причем разница по объемам выбросов от дноуглубительной техники может превышать значения в ПЛМ в несколько раз.

Таблица 4.9 – Значение индикатора временного загрязнения атмосферы

Вид работ	Располо- жение	Компо- ненты	Год						
			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Намыв территории аванпорта	Ломоносов	ПИ	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00	1,00
		Б/ПИ	-0,46	-0,41	-1,00	-1,00	-1,00	0,46	0,36
МК-1	Ломоносов	ПИ	—	—	0,67	0,54	0,90	—	—
		Б/ПИ	—	—	-1,00	-1,00	-1,00	—	—
	Кронштадт	ПИ	—	—	0,72	0,60	0,92	—	—
		Б/ПИ	—	—	-0,94	-1,00	0,57	—	—
МК-2	Ломоносов	ПИ	—	—	—	0,99	0,70	0,80	0,98
		Б/ПИ	—	—	—	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
	Кронштадт	ПИ	—	—	—	0,99	0,73	0,82	0,99
		Б/ПИ	—	—	—	0,89	-1,00	-1,00	0,88
Всего по годам	Ломоносов	ПИ	0,99	0,99	0,83	0,84	0,86	0,90	0,99
		Б/ПИ	-0,46	-0,41	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-0,71
	Кронштадт	ПИ	—	—	0,72	0,79	0,82	0,82	0,99
		Б/ПИ	—	—	0,00	-0,64	-0,90	-1,00	0,88
Примечание: ПИ – с учетом передвижных источников; Б/ПИ – без учета передвижных источников; «—» – соответствует отсутствию проведения работ в текущем году									

В случае учета как стационарных, так и передвижных источников выбросов индикатор принимает положительные значения ввиду того, что выбросы от дноуглубительной техники значительно ниже суммарных выбросов в ПЛМ.

Среднее значение индикатора для ПЛМ Ломоносова по трем этапам реализации проекта строительства составляет «0,87» с учетом передвижных источников и «-1,00» только при сравнении с выбросами в атмосферу, отходящими от стационарных источников загрязнения. В ПЛМ Кронштадт аналогичные значения индикатора составляют «0,59» и «-0,38», соответственно.

Таким образом, даже с учетом выбросов от всех видов источников проведение гидротехнических работ будет оказывать дополнительное слабое воздействие на ПЛМ Ломоносов и среднее – на ПЛМ Кронштадт, и сильное негативное и среднее негативное при учете только стационарных источников загрязнения в соответствующих ПЛМ.

Индикатор нарушенности береговой линии

При реализации гидротехнических проектов длина береговой линии может изменяться ввиду строительства тела портового комплекса, причалов, защитных дамб и др. При высокой природной изрезанности береговой линии ее длина может значительно уменьшаться, что

приводит к уменьшению протяженности литоральных биотопов. Увеличение протяженности береговой линии, напротив, приводит к увеличению числа искусственных литоральных биотопов, которыми становятся волноотбойные стенки и иные конструкции портового комплекса.

В случае проведения гидротехнических работ, не связанных с прямым физическим изменением береговой линии, индикатор принимает значение «1,00» ввиду отсутствия прямого физического нарушения береговой линии, что наблюдалось при проведении дноуглубительных работ на морском канале на этапах МК-1 и МК-2 очереди.

При создании намывной территории аванпорта «Бронка» длина вновь построенных портовых сооружений была незначительно больше, чем изначальная длина береговой линии. Таким образом, значение индикатора нарушенности береговой линии приняло значение «0,13», тогда как при создании подходного канала данный индикатор для МК-1 и МК-2 очереди был равен «1,00» ввиду отсутствия физического изменения длины береговой линии.

Индикатор использования грунта

Индикатор использования грунтов отображает количество грунта, используемого повторно, например, для строительства объектов портового комплекса, и количество грунта, размещенного в отвале.

Так, при намыве тела аванпорта «Бронка» большая часть грунта, изымаемого в ходе дноуглубительных работ, была пригодна для использования, и соответственно индикатор принял значение «0,82». Для создания морского подходного канала около 4 % грунта пошло на создание намывной территории ММПК «Бронка», однако большая часть грунта была размещена в подводном отвале «маяк Толбухин», и индикатор принял значение «-0,93». При реализации МК-2 весь изъятый грунт был размещен на подводном отвале (рисунок 3.3).

Индикатор механического нарушения биотопов

Индикатор нарушенности биотопов отражает отношение между постоянно и временно отторгаемыми площадями, которые являются субстратами для бентосных организмов и макрофитов. Данные группы организмов, в свою очередь, являются неотъемлемыми составляющими мест нереста и нагула высших компонентов экосистемы.

Постоянное отторжение биотопов связано с отчуждением территории и/или акватории под объект строительства, размещением створных знаков и иных сооружений, таким образом, что дно не может быть физически заселено компонентами экосистемы.

Временное отторжение дна связано с проведением гидротехнических работ, изменением глубины и рельефа дна, однако по окончании работ вновь созданное донное пространство может быть заселено компонентами экосистемы. По результатам проведенных лабораторных экспериментов и участия в мониторинговых наблюдениях за состоянием геосистемы Невской

губы и восточной части Финского залива при проведении и по окончании гидротехнических работ, выживаемость компонентов экосистем значительно различаются для различных видов, грунтов и толщины перекрытия дна (часть 4.2, а также Голубев и др. 2010 [54]; Шилин и Леднова, 2011 [139]; [32] Горохова и Леднова, 2012 [32]; [131] Шилин и др., 2012 [131]; Lednova et al., 2013 [202]).

При относительно небольшом участке проведения работ, при значительной акватории водного объекта, отторжение дна под строительство не приведет к значительным потерям биотопа. Большее по площади проведение дноуглубительных работ окажет более сильное временное негативное воздействие на биотопы. Так, при рассмотрении по компонентам строительства, создание тела аванпорта «Бронка» практически не влияет на Ломоносовскую отмель (рисунок 3.2), значение индикатора на данном этапе принимает значение «0,94». При строительстве морского канала в первую и вторую очереди воздействие, относительно размеров Ломоносовской отмели, также не окажет значительного влияния со значениями индикатора «0,97» для МК-1 и МК-2. При увеличении площади физического воздействия в пределах отмели значение индикатора приняло бы меньшие значения, что отразило бы увеличение степени механического нарушения биотопов. Совокупное значение индикатора механического нарушения биотопов при строительстве аванпорта «Бронка», МК-1 и МК-2 составляет «0,87» ввиду большего масштаба гидротехнических работ и суммарного нарушения биотопа, чем оценка по каждому элементу в отдельности. В этом случае среднее арифметическое значение индикатора составляет «0,96».

Таким образом, необходимо учитывать общее воздействие всех реализуемых этапов, в случае последовательной цепочки работ. При значительном промежутке времени между окончанием предыдущего и реализацией последующего этапов строительства целесообразнее рассматривать периоды по отдельности.

Индикатор перекрытия донных биотопов

Влияние гидротехнических работ не ограничивается только территорией и акваторией их проведения, связанных с физическим изъятием, перемещением, сбросом грунта или его использованием. Одним из наиболее важных воздействий на экосистемы является влияние увеличения мутности воды и перекрытия донных биотопов. В результате взмучивания, переноса и осаждения взмученного вещества происходит перекрытие биотопов, находящихся на удалении от места проведения работ. Чем большая площадь оказывается под слоем техногенных отложений, тем сильнее гидротехнические работы оказывают влияние на биотопы и компоненты экосистем, особенно уязвимые к перекрытию дна. Индикатор учитывает площадь перекрытия грунтом толщиной 5 мм, как уровень, к которому уязвимы некоторые компоненты экосистемы, что было показано Голубевым и др., 2010 [54], Шилиным и

др., 2013 [140]. Уязвимость компонентов экосистемы Невской губы показана по результатам лабораторных исследований (часть 4.2).

При намыве территории аванпорта «Бронка» индикатор перекрытия донных биотопов составил «0,87». Общая площадь, подвергшаяся перекрытию техногенным осадком толщиной более 5 мм, с учетом такой же толщины перекрытия на подводном отвале размещения неиспользуемого грунта, была значительно ниже, чем площадь Ломоносовской отмели.

Изменение значения индикатора при строительстве МК-1 было рассмотрено детально для каждого года проведения работ в период 2013–2015 гг. В течение реализации данного этапа строительства объемы производимых дноуглубительных работ различались более чем в 2,5 раза. При этом большая часть грунта размещалась на подводном отвале (рисунок 3.3), способствуя значительному перекрытию биотопов, как в месте проведения дноуглубительных работ, так и в месте размещения грунта в отвал. Значение индикатора варьировалось в пределах от «0,08» до «0,30» при расчете для каждого года. Такие низкие значения связаны с перекрытием площади отвала грунта более чем на 60 % при сопоставлении площадей воздействия гидротехнических работ. Если учитывать только суммарные значения площадей перекрытия при реализации МК-1, то значение индикатора будет равно «-1,4» в связи с суммарным перекрытием дна акватории за 3 года. Физически большая часть площадей перекрытия географически совпадает между собой в каждом году. Однако, бентосные организмы, обитающие на уже нарушенном в первый год биотопе, будут находиться в стрессовом состоянии, что приведет к увеличению их уязвимости к дополнительному антропогенному воздействию. Таким образом, представляется целесообразным просуммировать площади воздействия при расчете индикатора, в случае рассмотрения всего периода проведения работ.

При строительстве МК-2 значение индикатора составило «-0,06», суммарное перекрытие площадей относилось преимущественно к месту размещения изъятых грунтов, который целиком размещался в подводном отвале «маяк Толбухин» (рисунок 3.3).

В целом, площадь перекрытия техногенным слоем грунта в 5 мм для всех трех этапов была сопоставима с площадью подводного отвала, и в меньшей степени – с Ломоносовской отмелью (рисунок 3.2), что подтверждается общим значением индикатора для всего комплекса гидротехнических работ, равный «-0,20».

Индекс применимости грунтов по степени загрязнения

Индекс применимости грунтов по степени загрязнения рассчитан для намыва грунтами, изымаемыми в результате дноуглубительных работ при строительстве аванпорта «Бронка», для песков из карьера Сескар (рисунок 3.2) и для двух этапов создания морского подходного канала

с учетом содержания загрязняющих веществ в каждом инженерно-экологическом горизонте (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Значение индекса применимости грунтов по степени загрязнения для намыва территории и размещения грунта в подводном отвале

Вид работ	Значение индикатора, безразмерный					
	Пески	Супеси и суглинки	Илы	Глины и суглинки	Суглинки и супеси	Грунт
Намыв территории						
Грунт со дна	0,98	–	–	–	–	0,98
Грунт из карьера	0,75	–	–	–	–	0,75
МК-1	0,96	0,92	0,88	0,88	0,92	0,91
Сброс грунта в отвал						
МК-1	0,95	0,91	0,87	0,87	0,91	0,90
МК-2	0,97	0,91	0,88	0,89	0,92	0,91

Значение индекса, учитывающего 20 компонентов, принимает значение «0,98» (таблица 4.10) ввиду того, что грунт, используемый при намыве территории, изъятый в ходе дноуглубительных работ, относится к категории «чистый». Например, по самому высокому содержанию элементов, концентрация загрязняющего вещества в грунте составляет 12 % от целевого и предельного уровня. Значение индекса по использованию грунтов с карьера имеет значение несколько ниже и составляет «0,75» ввиду того, что концентрация двух компонентов равны максимальным концентрациям целевого уровня и составляют 26 и 30 % от значения предельного уровня, при котором возможно использование грунта для создания намывных территорий.

Грунты, извлекаемые при реализации МК-1, по концентрации загрязняющих веществ пригодны как для намывных работ, так и для размещения грунта в подводном отвале без предварительных действий по его очистке или дополнительным мерам по его изоляции от окружающей среды. Изменение значения индекса при рассмотрении по фракционному составу различаются в зависимости от содержания загрязняющих веществ в них. Так, самой загрязненной фракцией являются илы и глины и суглинки, как в грунтах МК-1, так и МК-2, связанных с особенностью самой фракции. В общее незначительное снижение индекса вносят вклад именно илы и глины и суглинки, однако его среднее значение по инженерно-экологическим горизонтам составляет «0,90» и «0,91» для МК-1 и МК-2, соответственно.

Индикатор распространения шлейфа мутности

Наименьший объем замутненных вод и распространение шлейфа мутности отмечается при создании намывной территории аванпорта «Бронка». Объем замутненной воды превышал объем «отторгаемой» водной толщи около 1,5 раз. Значение индикатора составило «-0,53».

Наибольший объем замутненных вод отмечался при реализации дноуглубительных работ этапов МК-1 и МК-2. При сбросе грунта в подводный отвал объем замутненных вод был ниже от 30 % до одного порядка, чем при извлечении грунта со дна. Значение индикатора составило «-1» для каждого года проведения гидротехнических работ на этапе МК-1, а также для этапа МК-2. Наибольший негативный эффект отмечается для этапа МК-1, для которого объем замутненных вод по каждому году выше, чем для МК-2 за весь период реализации этапа.

Индекс относительного загрязнения воды

Потенциальное максимальное относительное загрязнение воды в результате проведения гидротехнических работ и связанным с ними повторным взмучиванием донного грунта связано с увеличением содержания тяжелых металлов, нефтеуглеводородов, пестицидов и других загрязняющих веществ, не только негативно сказывающихся на оперативно наблюдаемом качестве воды, но и имеющих более длительные кумулятивные эффекты для компонентов экосистемы.

В зависимости от загрязненности каждого инженерно-экологического горизонта или грунта в целом, количество загрязняющих веществ, доступных компонентам экосистемы, резко увеличивается, а их распространение зависит от количества взвешенного вещества, вновь попавшего в окружающую (водную) среду.

Относительная максимальная нагрузка с учетом фоновых концентраций и по отношению к ПДК в водных объектах рыбохозяйственного назначения, установленных согласно документу «Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 г. № 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения"» [85] была рассчитана для каждого этапа работ и по каждому инженерно-экологическому горизонту (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Значение индекса относительного загрязнения воды при проведении гидротехнических работ МК-1 по инженерно-экологическим горизонтам

Инженерно-экологический горизонт	Индикатор относительной загрязненности воды, безразмерный			
	МК-1			
	1 год	2 год	3 год	Всего
Песок пылеватый	-0,57	-0,89	—	-0,73
Суглинок легкий пылеватый текучий	-0,65	-1,00	-1,00	-0,88
Ил суглинистый	-1,00	-1,00	-0,85	-0,95
Глина легкая пылеватая текучая	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
Суглинок легкий пылеватый мягкопластичный	-0,47	-1,00	-1,00	-0,82
Всего	-0,74	-0,98	-0,96	-0,89

При превышении значения ПДК более чем в 2 раза значение компонентов индекса принимается равным «-1», что соответствует предельному уровню слабого загрязнения вод.

В целом, значительные загрязнения водной среды были связаны с уже имеющимся превышением ПДК по ряду компонентов. Так, например, концентрации по содержанию свинца в воде до начала проведения работ превышали допустимые значения более чем в 5 раз, что способствовало установлению отрицательных значений индикатора по всем этапам работ.

Индекс потери кормовых ресурсов

Индекс потери кормовых ресурсов включает в себя четыре компонента, которые являются неотъемлемыми звеньями пищевых цепей, а в случае макрофитов – еще и местом размножения, нагула и укрытия для рыб. Значения индикатора потери компонентов экосистем и индекс потери кормовых ресурсов приведены в таблице 4.12. Обоснование выбора индикаторов, формирующих индекс потери кормовых ресурсов приводится в части 4.2.

Таблица 4.12 – Индикатор нарушенности компонентов экосистем и индекс потери кормовых ресурсов

Компонент экосистемы	Значения индикатор, безразмерный			
	Намыв территории	МК-1	МК-2	Общее значение
Макрофиты	-0,20	-0,24	-0,40	-0,28
Бентос	-0,49	-0,53	-0,65	-0,55
Фитопланктон	-0,33	-0,40	-0,44	-0,39
Зоопланктон	0,34	0,30	0,28	0,31
Индекс нарушения	-0,17	-0,22	-0,30	-0,23

Как видно из таблицы 4.12, площадь, занимаемая макрофитами, имеет меньшее значение, чем общая площадь проведения гидротехнических работ. Это приводит к тому, что существует теоретическая вероятность нарушения подводных зарослей, как при реализации каждого из этапов гидротехнических работ, так и в целом при реализации всего проекта.

Индикатор потери бентоса состоит из двух основных компонентов: постоянных и временных потерь. Постоянные потери бентоса связаны с утратой пространства, которое отторгается под строительство и проведение гидротехнических работ, как правило, связанных с созданием искусственных территорий, которые не могут быть повторно заселены гидробионтами. Временные потери связаны с изменением глубины, рельефа дна и донных отложений, вызывающих нарушения бентосных сообществ. По окончании работ они начинают восстанавливаться. Наибольшая площадь проведения гидротехнических работ, и, следовательно, наибольшая площадь дна, затрагиваемая работами, была при реализации МК-2. Значение индикатора для МК-1 и МК-2 составило «-0,53» и «-0,65», соответственно.

Индикатор потери фито- и зоопланктона зависит от массы указанных компонентов экосистемы в объеме воды, подвергшейся воздействию гидротехнических работ в результате физического «отторжения» объема воды, связанного с намывом территории, и временным воздействием в результате работы техники при дноуглубительных работах и размещения грунта в отвал.

Индекс нарушения кормовых ресурсов для всех этапов принял отрицательное значение, отражая среднее значение потери кормовых ресурсов при проведении гидротехнических работ, составив в среднем «-0,23».

Индекс потери рыбных ресурсов

Индекс потери рыбных ресурсов складывается из постоянных потерь, связанных с отторжением дна и объема воды ввиду намыва территории, и временных рыбопотерь, связанных с гидротехническими работами и размещением грунта в отвал. При постоянном отторжении учитывается продуктивность нерестилищ, которые могли бы потенциально обеспечить поддержание или увеличение рыбных ресурсов по окончании гидротехнических работ.

Для аванпорта «Бронка» было рассмотрено два варианта расчета индекса: по годам и общее значение при реализации намыва территории (таблица 4.13). При рассмотрении по годам, когда не происходило отторжения территории и работы проводились внутри уже изъятной территории, а временные потери ввиду увеличения мутности были минимальны, значение индикатора было равно «1,00», что соответствовало отсутствию негативного воздействия на рыбные ресурсы.

Таблица 4.13 – Значение индекса потери рыбных ресурсов

	Значение индекса, безразмерный			
	Намыв территории	МК-1	МК-2	Общее
Без учета количества лет проведения работ	0,27	-1,00	0,75	-0,01
С учетом количества лет проведения работ	0,60	0,32	0,94	0,62

Индекс учитывает постоянные рыбопотери, связанные с отторжением акватории под намыв искусственной территории аванпорта, и временные, связанные с временным ухудшением условий для размножения и выживаемости рыб и их кормовых ресурсов.

Наибольший относительный негативный эффект на потери рыбных ресурсов при производстве гидротехнических работ по созданию аванпорта «Бронка» наблюдался в 2011 г, когда отмечались как временные, так и постоянные потери, и значение индекса снизилось до

«0,59». В период 2012–2014 гг. значение индекса принимало значение около «1,00» ввиду минимальных постоянных рыбопотерь относительно рыбопродуктивности района, связанных с гидротехническими работами при строительстве причальных сооружений. В 2015 г. значение индекса опустилось до «0,59» ввиду значительных временных рыбопотерь, связанных со складированием грунта в подводный отвал. Общее значение индекса рыбопотерь при намыве территории аванпорта «Бронка» составило «0,27» без учета количества лет проведения работ, и «0,60» с учетом проведения работ в течение 5 лет. Очевидно, что потери рыбных ресурсов при проведении гидротехнических работ относительно общей продуктивности локальной географической единицы являются меньшими, чем продуктивность района.

Реализация МК-1 была связана со значительными объемами гидротехнических работ и, соответственно, значительными рыбопотерями. Без учета продолжительности работ значение индекса рыбопотерь составило «-1,00». В данном случае временные рыбопотери за весь период проведения гидротехнических работ МК-1 превышали рыбопродуктивность локальной географической единицы за сезон, что приводит к увеличению уязвимости рыбного населения к проведению гидротехнических работ, в рамках реализации проекта по созданию аванпорта «Бронка».

С учетом продолжительности гидротехнических работ, наибольший негативный эффект наблюдался в 2015 г.: значение индекса составило «-0,12», что характеризует относительное превышение потери рыбных ресурсов в пределах выполнения гидротехнических работ над рыбопродуктивностью географического района. Среднее значение индекса с учетом продолжительности гидротехнических работ составило «0,32».

Значение индекса для МК-2 составило «0,75» без учета количества лет проведения работ и «0,94» с учетом проведения работ в течение 4 лет, что отражает меньшие рыбопотери, чем возможное рыбопроизводство в том же географическом участке.

Общее значение индекса потери рыбных ресурсов составляет «0,62» с учетом продолжительности гидротехнических работ, что соответствует среднему уровню относительных рыбопотерь.

Индекс комплексного антропогенного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ

Индекс комплексного антропогенного воздействия гидротехнических работ на геоэкологическую ситуацию ПЗ рассчитан как среднее арифметическое индикаторов и индексов, отражающих воздействие на различные компоненты геосистемы при проведении гидротехнических работ. В таблице 4.14 приведены сводные значения индикаторов и индексов по этапам строительства аванпорта «Бронка» и двух этапов создания и углубления подходного

канала к ММПК для Ломоносовской отмели, подводного отвала грунта в районе маяка Толбухин, ПЛМ Ломоносов и Кронштадт.

Таблица 4.14 – 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

В целом, выбранный вариант реализации проекта аванпорта «Бронка» может оказать умеренное негативное влияние на геоэкологическую ситуацию района проведения при строгом соблюдении правил проведения работ.

Наибольшее негативное воздействие ожидается от распространения шлейфа замутненных вод, который превышает двукратный объем столба воды в районе проведения гидротехнических работ. Вторым стрессовым фактором является вероятность повторного загрязнения воды при проведении гидротехнических работ и поднятия со дна загрязненного грунта. Третьим стрессовым фактором является потеря кормовых ресурсов. Индикаторы перекрытия донного биотопа и использования грунта имели низкие значения при реализации этапов подходного канала (МК-1 и МК-2). По этапам реализации проекта наибольшее стрессовое воздействие может быть оказано при реализации этапа МК-1 ввиду наибольших объемов проведения гидротехнических работ.

Разработанная комплексно-индикаторная система ОГСПЗ адекватно отражает изменение геоэкологической ситуации при проведении гидротехнических работ.

Обобщение к главе 4

В настоящей главе проведена апробация разработанной авторской методики по ОГСПЗ Невской губы на основе комплексно-индикаторного подхода.

Система индикаторов ОГСПЗ ПЛМ Невской губы и сравнительный анализ с Курортным ПР Санкт-Петербурга 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).

Корреляционный анализ между индикаторами ОГСПЗ ПЛМ показал отсутствие дублирования информации, наличие возможных ложных и/или неопределенных связей по индексам негативного и положительного воздействия.

Проведенные лабораторные эксперименты показали разброс в степени уязвимости компонентов экосистемы Невской губы к гидротехническим работам, связанных с толщиной, частотой и гранулометрическим составом извлекаемого грунта и увеличению мутности воды. Один и тот же вид по-разному реагирует на изменение указанных выше параметров. Выживаемость типичного представителя Невской губы *Ch. plumosus* варьировалась от 7 до 100 %. Выживаемость и рост макрофитов *C. demersum* и *E. canadensis*, значительно варьировались для «мутного» и «прозрачного» аквариумов. Наиболее заметный разброс данных результаты отмечались для *E. canadensis*, где в «мутном» аквариуме роста практически не наблюдался, тогда как в «прозрачном» прирост 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 этапов МК-1 и МК-2. По отдельным этапам значение

комплексного индикатора изменялось от «0,35» до «-0,01», при значительных объемах гидротехнических работ на большой площади акватории и сравнительно небольшой площади в ПЗ, соответственно. Наибольший вклад 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.

Таким образом, разработанная методика на основе комплексно-индикаторного подхода позволяет оценить геоэкологическую ситуацию в прибрежной зоне Невской губы по физическим, химическим, биологическим и социально-экономическим факторам воздействия в условиях ее урбанизации, трансформации и техногенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное диссертационное исследование позволило достигнуть поставленной цели, заключающейся в оценке геоэкологической ситуации прибрежной зоны Невской губы в условиях интенсивного техногенеза на основе комплексно-индикаторной подхода для уровня приморского локального муниципалитета и отдельного элемента природно-технической системы.

Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом.

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.

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.

В ы в о д ы

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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов Н. А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии [Текст] / Н. А. Айбулатов. – М.: Наука, 2005. – 364 с.
2. Айбулатов Н. А., Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана [Текст] / Н. А. Айбулатов, Ю. В. Артюхин. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 291 с.
3. Айбулатов, Н.А. О терминологии в береговой зоне моря [Текст] / Н. А. Айбулатов // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология : труды XXI Международной береговой конференции : сб. науч. ст. – Калининград : КГТУ, 2004. – С. 62–65.
4. Айбулатов, Н. А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне [Текст] / Н. А. Айбулатов. – М.: Гидрометеиздат, 1990. – 272 с.
5. Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской Федерации на основе индикаторной оценки морского потенциала [Текст] / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов, Г. Г. Гогоберидзе, Ю. А. Леднова // Ученые записки РГГМУ. – 2013. – № 30. – С. 181–188.
6. Аракелов, М. С. Методика геоэкологического районирования Приморских территорий Туапсинского района Краснодарского края на основе индикаторного подхода [Текст] : автореф. дис. ... канд.геогр. наук : 25.00.36 / Аракелов Микаэл Сергеевич. – СПб, 2011. – 23 с.
7. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря [Текст] / Гл. ред. О. В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 78 с.
8. Базарова, Б. Б. *Elodea Canadensis Michaux* на границе мирового водораздела ледовитого и тихого океанов [Текст] / Б. Б. Базарова, Н. М. Пронин // Российский журнал биологических инвазий. – М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2010. – № 3. – С. 2–12.
9. Балушкина, Е. В. Биоразнообразие сообществ донных животных и качество вод эстуария р. Невы в условиях антропогенного стресса [Текст] / Е. В. Балушкина, С. М. Голубков // Труды Зоологического института РАН. – 2015. – Т. 319, № 2. – С. 229–243.
10. Балушкина, Е. В. Изменение качества воды и биоразнообразия сообществ донных животных в эстуарии р. Невы под влиянием антропогенного стресса [Текст] / Е. В. Балушкина, С. М. Голубков // Региональная экология. – 2017. – № 2 (48). – С. 5–17.
11. Большой порт Санкт-Петербург. Многофункциональный морской перегрузочный комплекс «Бронка». Проектная документация. Раздел 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды. [Текст] : проектные материалы / ООО «Эко-Экспресс-Сервис». – СПб., 2012. – 487 с. – Инв. № 8572К.

12. Брэй, Р. Н. Экологические аспекты дреджинга [Текст] / Р. Н. Брэй. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2013. – 444 с.
13. Булгаков, И. П. Результаты экологического мониторинга при строительстве ММПК «Бронка» в 2011 году [Текст] / И. П. Булгаков, Е. В. Смольникова // Морские берега – эволюция, экология, экономика : мат. XXIV Междунар. береговой конф., посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега», Туапсе, 1–6 октября 2012 года. Рабочая группа «Морские берега», Российский государственный гидрометеорологический университет / отв. ред Л. А. Жиндарев. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012. – С. 234–246.
14. Васильев, А. М. Комплексный подход к организации морехозяйственной деятельности в Западной Арктике [Текст] / А. М. Васильев // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – № 1 (25). – С. 56–65.
15. Влияние гидротехнических работ на биоту Невской губы [Текст] / О. Н. Сулопарова, А. С. Шурухин, О. И. Мицкевич [и др.] // День Балтийского моря : сб. тез. докл. X междунар. эколог. форума. – СПб, 2009. – С. 206–207.
16. Водно-болотные птицы в заказнике «Южное побережье Невской губы»: не на птичьих правах! [Электронный ресурс] / М. Б. Шилин, С. А. Коузов, В. А. Жигульский, А. Н. Чусов // Окружающая Среда Санкт-Петербурга. – 2017. – №1 (3) – С. 40–47. – Режим доступа : <http://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2017/08/OS-13.pdf> (дата обращения 11.06.2019).
17. Водный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон № 74-ФЗ : [принят Государственной Думой 12 апреля 2006 года : одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 года] : (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
18. Волнина, О. В. Оценка геоэкологической ситуации в районах подводных отвалов грунта в восточной части Финского залива [Текст] / О. В. Волнина // Ученые записки РГГМУ – 2011. – № 20. – С. 172–186.
19. Геоэкологическая характеристика Кронштадта и оценка загрязненности его территории тяжелыми металлами [Текст] / В. В. Куриленко, Н. Г. Осмоловская, Д. А. Максимова, Л. Н. Кучаева // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2015. – № 2. – С. 107–124.
20. Гилл, М. Дж. Стратегия разработки индексов и индикаторов для отслеживания состояния арктического биоразнообразия и тенденций его изменения. Вспомогательная публикация для Рамочного документа Циркумполярной программы мониторинга биоразнообразия [Текст] / М. Дж. Гилл, К. Цёклер. – Iceland, Akureyri: CAFF International Secretariat, 2008. – № 12. – 20 с. – (Серия CAFF CMBP Report).

21. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
22. Гогоберидзе, Г.Г. Глоссарий по Кадастру береговой (прибрежной) зоны [Текст] : справ. пособие / Г. Г. Гогоберидзе, В. А. Жамойда, Е. Н. Нестерова. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 95 с.
23. Гогоберидзе, Г.Г. Прибрежная зона: основы понятийного аппарата и принципы геостратегического развития / Г. Г. Гогоберидзе // Проблемы современной экономики [Электронный ресурс]. – 2008. – № 3 (27). – Режим доступа : <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=2136> (дата обращения 20.06.2015).
24. Гогоберидзе, Г. Г. Возможности применения методологии КУПЗ и принципов морского пространственного планирования в Российской Федерации [Текст] / Г. Г. Гогоберидзе, Ю. А. Леднова // Региональная экология. – 2014. – № 1-2 (35). – С. 141–144.
25. Гогоберидзе, Г. Г. Индикаторные методы как инструмент комплексного анализа и оценки приморских территорий [Текст] / Г. Г. Гогоберидзе. – СПб., 2008. – 27 с.
26. Гогоберидзе, Г. Г. Методология и методы оценки морского потенциала приморских территорий [Текст] : дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.14 / Гогоберидзе Георгий Гививич. – М., 2010. – 555 с.
27. Гогоберидзе, Г. Г. Оценка экологических рисков антропогенного воздействия на приморские муниципалитеты восточной части Финского залива [Текст] / Г. Г. Гогоберидзе, Ю. А. Леднова // Региональная экология. – 2015. – № 4 (39). – С. 147–163.
28. Гогоберидзе, Г. Г. Политика действий в прибрежной зоне [Текст] / Г. Г. Гогоберидзе, Н. Л. Плинка. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 226 с.
29. Гогоберидзе, Г. Г. Проблематика национальной морской политики и трехуровневая модель управления прибрежной зоной Российской Федерации [Текст] / Г. Г. Гогоберидзе // Вестник Чувашского университета. Гуманитарные науки. – 2005. – №3. – С. 89–100.
30. Голубев, Д. А. Экологическая уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива по отношению к механическим воздействиям от подводных горнотехнических работ [Текст] / Д. А. Голубев, В. Б. Погребов, М. Б. Шилин // Инженерные изыскания. – 2010. – № 5. – С. 34–43.
31. Город Ломоносов. Границы города на карте [Электронный ресурс] : информационно-справочный портал. – Режим доступа : <https://www.spbmap.ru/district/ petrodvortsovy-raion/mo-lomonosov.html> (дата обращения 29.06.2019).
32. Горохова, Е. А. Оценка экологического воздействия портостроительных работ в Лужской губе [Текст] / Е. А. Горохова, Ю. А. Леднова // Морские берега – эволюция, экология, экономика : мат. XXIV Междунар. береговой конф., посвященной 60-летию со дня основания

Рабочей группы «Морские берега», Туапсе, 1–6 октября 2012 года. Рабочая группа «Морские берега», Российский государственный гидрометеорологический университет / отв. ред Л. А. Жиндарев. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012. – С. 155–160.

33. Губелит, Ю. И. Макроводоросли в условиях восточной части Финского залива [Текст] / Ю. И. Губелит, Н. А. Ковальчук // Труды Зоологического института РАН. – 2013. – Т. 317, № S3. – С. 90–97.

34. Динамика седиментационных процессов в Невской губе (Финский залив) под воздействием техногенных факторов [Текст] / Д. В. Рябчук, Е. Н. Нестерова, В. А. Жамойда [и др.] // Ученые записки РГГМУ. – 2014. – № 35. – С. 102–118.

35. Дноуглубительные работы в акватории и подходном канале ММПК «Бронка» [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Fenix : [сайт]. – Дата публикации: 17 февраля 2015. – Режим доступа : URL: www.port-bronka.ru (дата обращения 03.07.2019).

36. Добровольский, А. Д. Моря СССР [Текст] / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин. – М.: Изд. МГУ, 1982. – 192 с.

37. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2011 году [Текст] / под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2012. – 190 с.

38. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2012 году [Текст] / под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2013. – 168 с.

39. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2013 году [Текст] / под ред. И. А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Единый строительный портал», 2014. – 173 с.

40. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2014 году [Текст] / под ред. И. А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Дитон», 2015. – 180 с.

41. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 году [Текст] / под ред. И. А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2016. – 168 с.

42. Домнин, Д. А. Геоэкологическая оценка и районирование водосборных бассейнов Калининградской области [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Домнин Дмитрий Александрович. – Калининград, 2017. – 142 с.

43. Домнин, Д. А. Геоэкологическое районирование водосборных бассейнов Калининградской области с использованием индикаторного подхода и кластерного анализа [Текст] / Д. А. Домнин // Перспективы науки. – 2015. – № 11(74). – С. 166–172.

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

45. Ершова, А. А. Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора реки Нева в восточную часть Финского залива [Текст] : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Ершова Александра Александровна. – СПб, 2013. – 28 с.

46. Жигульский, В. А. Мелиорация нарушенных подводных ландшафтов различной рыбохозяйственной ценности [Текст] / В. А. Жигульский, Е. Ю. Максимова // II Всероссийская конференция «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». Конференция имени Л. Н. Карлина : сб. науч. тр., Санкт-Петербург, 19–20 декабря 2018 года. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. – С. 270–274.

47. Жигульский, В. А. О возможности и целесообразности создания ГТС природоохранного назначения в береговой зоне восточной части Финского залива [Текст] / В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский, Т. В. Максимова // Гидротехника. – 2013. – № 1 (30). – С. 9–15.

48. Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов [Текст] / М. А. Спиридонов, Д. В. Рябчук, К. К. Орвику [и др.] // Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 41. – С. 107–118.

49. Интерактивная карта мира [Электронный ресурс] / Google. – Изображение (картографическое ; неподвижное ; двухмерное). – Режим доступа : www.google.ru (дата обращения 29.06.2019).

50. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2011 г. [Текст] / под ред. О. В. Петрова, А. М. Лыгина. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 80 с.

51. Исследование пространственно-временной динамики зарослевых экосистем Невской губы и прилегающей акватории восточной части Финского залива [Текст] / Е. Ю. Максимова, В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский [и др.] // Ученые записки РГГМУ. – 2016. – № 45. – С. 202–216.

52. История Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] : [сайт] / Википедия. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/История_Санкт-Петербурга (дата обращения 02.05.2020).

53. Комплексное управление природопользованием на шельфовых морях [Текст] / под ред. С. Ю. Фомина. – Москва, Мурманск: Изд. Всемирн. фонда дикой прир. (WWF), 2011. – 82 с.

54. Комплексные экологические исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и восточной части Финского залива [Текст] / Д. А. Голубев, В. М. Зайцев, К. А. Клеванный, Ю. А. Леднова [и др.] // Инженерные изыскания. – 2010. – № 5. – С. 36–42.

55. Кононенко М.Р. Стратегии планирования в комплексном управлении прибрежной зоной [Текст] / М. Р. Кононенко, М. Б. Шилин. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003. – 152 с.
56. Корнеев, О. Ю. Геоэкологические аспекты дреджинга в Финском заливе [Текст] / О. Ю. Корнеев, А. Е. Рыбалко, Н. К. Федорова // Ученые записки РГГМУ. – 2014. – № 35. – С. 119–123.
57. Косьян, Р. Д. Недостатки существующей системы комплексного управления береговой зоной российского сектора Черного моря [Электронный ресурс] / Р. Д. Косьян // Бюллетень науки и практики : электронный журнал. – 2017. – № 10 (23). – С. 93–98. – Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kosyan> (дата обращения 17.11.2019).
58. Косьян, Р. Д. Основные критерии комплексной классификации Азово-Черноморских берегов России [Текст] / Р. Д. Косьян, В. В. Крыленко // Океанология. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 501–511.
59. Коузов, С. А. Размножение серой утки *Anas strepera* в Ленинградской области [Текст] / С. А. Коузов, А. В. Кравчук // Русский орнитологический журнал. – 2014. – Т. 23, № 1005. – С. 1649–1654.
60. Кронштадтский район [Электронный ресурс] : официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. – Режим доступа : https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_kronsht/information/ (дата обращения 25.06.2019).
61. Кропинова, Е. Г. Устойчивое развитие прибрежных территорий как основа комплексного управления прибрежными зонами [Текст] / Е. Г. Кропинова, Э. П. Афанасьева // Вестник Балтийского федерального университета им. И.Канта. – 2014. – № 1. – С. 140–147.
62. Крыленко, В. В. Региональные особенности подходов к управлению черноморскими прибрежными геоэкосистемами [Текст] / В. В. Крыленко, М. В. Крыленко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 9. – С. 41–44.
63. Кудерский, Л. А. Оценка ущерба рыбохозяйственным водоемам от свалки грунтовых масс [Текст] / Л. А. Кудерский, Г. М. Лаврентьева. – СПб.: Изд. ГосНИОРХ, 1996. – 52 с.
64. Ланге, Е. К. Современное состояние фитопланктона восточной части Невской губы (Финский залив, Балтийское море) [Текст] / Е. К. Ланге // V Балтийский морской форум: Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов : сб. науч. тр. всерос. науч. конф., Калининград, 23–24 мая 2017 года. – Калининград: КГТУ, 2017. – С. 276–281.
65. Ломоносов (город) [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ломоносов_\(город\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ломоносов_(город)) (дата обращения 25.06.2019).
66. Малинин, В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации [Текст] : учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.

67. Матишов, Г. Г. Интегрированное управление природопользованием в шельфовых морях [Текст] / Г. Г. Матишов, В. В. Денисов, С. Л. Дженюк // Известия российской академии наук. Серия географическая. – 2007. – № 3. – С. 27-40.

68. Матишов, Г. Г. морское природопользование в западном секторе Арктики: проблемы и решения [Текст] / Г. Г. Матишов, В. В. Денисов, А. П. Жичкин // ВЕСТНИК Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 2 (21). – С. 103–112.

69. Методические подходы к выделению районов ограничения антропогенной деятельности в замерзающих морях [Текст] / Я. Ю. Блиновская [и др.]. – Мурманск: Изд. Всемирн. фонда дикой прир. (WWF), 2014. – 36 с.

70. Морская доктрина Российской Федерации : [утверждена Президентом Российской Федерации 17 июня 2015 года № Пр-1210] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/>.

71. Морской порт «Большой порт Санкт-Петербург» [Электронный ресурс] : информационный портал Санкт-Петербург госуслуги. – Режим доступа : <https://gu.spb.ru/orgs/418661/> (дата обращения 29.06.2019).

72. Музалевский, А. А. Типизация индикаторов и индексов окружающей среды [Текст] / А. А. Музалевский, Л. Н. Карлин, Д. Е. Яйли // Охрана окружающей среды и природопользование. – 2013. – № 3. – С. 4–6.

73. На пути создания современной геологической основы береговедения (базовая терминология) [Текст] / М. А. Спиридонов, Д. В. Рябчук, В. А. Жамойда, Г. Г. Гогоберидзе // Региональная геология и металлогения. – 2006. – № 28. – С. 181–191.

74. Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья [Текст] : В 11 томах. Т. 2. Балтийское море / под ред. Р. Д. Косьяна. – Геленджик, 2013. – 253 с.

75. Нежиховский, Р. А. Река Нева и Невская губа [Текст] / Р. А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 112 с.

76. Некоторые критерии экспресс-оценки экологической безопасности гидростроительства [Текст] / В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский, Н. А. Саноцкая, О. А. Заболоцкая // мат. XXIV Междунар. береговой конф., посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега», Туапсе, 1–6 октября 2012 года. Рабочая группа «Морские берега», Российский государственный гидрометеорологический университет / отв. ред Л. А. Жиндарев. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012. – С. 171–175.

77. Новые сведения о развитии процессов эвтрофикации литоральной зоны восточной части Финского залива [Текст] / Т. М. Потапова, Е. Н. Джиноридзе, В. П. Королева [и др.] // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2005. – № 4. – С. 76–86.

78. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга : [утверждены Главным государственным санитарным врачом по Санкт-Петербургу 17 июня 1996 года и Комитетом по охране окружающей среды и природных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области 22 июля 1996 года] [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

79. О внесении изменений в сведения о морском порте «Большой порт Санкт-Петербург» в Реестре морских портов Российской Федерации : распоряжение Росморречфлота от 02 марта 2016 года № ЮК-28-р [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

80. О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации : Федеральный закон № 155-ФЗ : [принят Государственной Думой 16 июля 1998 года : одобрен Советом Федерации 17 июля 1998 года] : (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

81. О континентальном шельфе Российской Федерации : Федеральный закон № 187-ФЗ : [принят Государственной Думой 25 ноября 1995 года] : (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

82. О методических рекомендациях по разработке прибрежно-морского компонента Стратегии социально-экономического развития приморского субъекта Российской Федерации, направленные главам исполнительной власти приморских субъектов Российской Федерации : письмо Министерство экономического развития Российской Федерации от 11 октября 2013 года № Д17и-904 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

83. Об исключительной экономической зоне Российской Федерации : Федеральный закон № 191-ФЗ [принят Государственной Думой 18 ноября 1998 года : одобрен Советом Федерации 2 декабря 1998 года] : (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

84. Об охране окружающей среды : Федеральный закон № 7-ФЗ : [принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года] : (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

85. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Текст] : приказ Министерства сельского

хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 : [зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 13 января 2017 года, регистрационный N 45203] : (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

86. Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту «Большой порт Санкт-Петербург» : Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 19 декабря 2016 года № 388 : [зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 03 марта 2017 года № 45829] [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

87. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Северо-Западного федерального округа на период до 2020 года : [утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2011 года № 2074-р] [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

88. ООПТ России [Электронный ресурс] : информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России». – Режим доступа : <http://oopt.aari.ru/oopt> (дата обращения 28.06.2019).

89. Опыт и перспективы использования некоторых количественных методов экологической оценки проектируемых гидротехнических сооружений [Текст] / В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский, Е. Ю. Максимова [и др.] // Ученые записки РГГМУ. – 2016. – № 45. – С. 192–201.

90. Орлова, М. И. Мониторинг чужеродных видов Невской губы и восточной части Финского залива. История и основные результаты, перспективы [Электронный ресурс] / М. И. Орлова // Окружающая Среда Санкт-Петербурга. –2017. – №3 (5). – С. 45–55. – Режим доступа : http://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2017/10/OS-3-5_2.pdf (дата обращения 02.05.2019).

91. Основные факторы, определяющие функционирование водной системы Ладожское озеро — река Нева — Невская губа — восточная часть Финского залива в современных условиях [Текст] / В. А. Румянцев, С. А. Кондратьев, Ш. Р. Поздняков [и др.] // Известия русского географического общества. – 2012. – Т. 144, № 2. – С. 55–69.

92. Официальный сайт компании Boskalis [Электронный ресурс] : [сайт]. – 2019. – Режим доступа : URL: boskalis.com (дата обращения 03.07.2019).

93. Официальный сайт МОБИ ДИК [Электронный ресурс] : [сайт]. – Режим доступа : URL: www.moby-dik.ru (дата обращения 24.02.2020).

94. Официальный сайт Управления Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://petrostat.gks.ru/> (дата обращения 06.10.2019).

95. Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Администрация морских портов Балтийского моря» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.pasp.ru/dannye_po_gruзооборotu (дата обращения 06.10.2019).

96. Оценка влияния интенсивных гидротехнических работ, проводимых в последнее десятилетие в прибрежных районах Невской губы на ее биоту [Текст] / О. Н. Суслопарова [и др.] // Ученые записки РГГМУ. – 2013. – № 28. – С. 110–120.

97. Патин, С. А. Взвесь как природный и антропогенный фактор воздействия на морскую среду и организмы [Текст] / С. А. Патин // Сб. Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации. – М., 2000. – С. 177–181.

98. Петродворцовый район [Электронный ресурс] : официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. – Режим доступа : https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_petrodv/information/ (дата обращения 25.06.2019).

99. Питулько, В. М. Масштабные проекты в ВЧФЗ: принципы и презумпции для подготовки природозащитных мероприятий [Текст] / В. М. Питулько // Региональная экология. – 2014. – № 1-2 (35). – С. 96–105.

100. Плинк, Н. Л. Концепция комплексного управления прибрежной зоной Санкт-Петербурга [Текст] / Н. Л. Плинк // 30 лет Океанологическому факультету: Исследования и подготовка кадров в области морских наук = 30th Anniversary of oceanographic faculty: research and training in marine sciences : сб. науч. тр. – СПб.: РГГМУ, 2000. – С. 37–57.

101. Погребов, В. Б. Биомониторинг прибрежных зон Мирового океана [Текст] / В. Б. Погребов, М. Б. Шилин // Основные концепции современного берегопользования : т. 1. / под. ред. Л. Н. Карлина, В. В. Денисова, М. Б. Шилина. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – С. 75–125.

102. Погребов, В. Б. Оценка воздействия на окружающую среду и мониторинг биологических последствий дреджинга в Финском заливе Балтийского моря [Текст] / В. Б. Погребов, О. А. Кийко, А. А. Филиппов // Ученые записки РГГМУ. – 2014. – № 35. – С. 133–141.

103. Погребов, В. Б. Природоохранный атлас российской части Финского залива [Текст] / В. Б. Погребов, Р. А. Сагитов, Н. В. Дмитриев. – СПб.: «Тускарора», 2006. – 75 с.

104. Порт Бронка. Начало строительных работ [Электронный ресурс] // Информационный портал Судостроение. Энергетика. Транспорт : [сайт]. – 2019. – Режим доступа: URL: <https://www.setcorp.ru> (дата обращения 06.10.2019).

105. Прибрежно-морское природопользование: теория, индикаторы, региональные особенности [Текст] / И. С. Арзамасцев, П. Я. Бакланов, С. М. Говорушко [и др.] – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 308 с.

106. Проект Федерального закона «О государственном управлении морской деятельностью Российской Федерации» : [внесен Правительством Российской Федерации] [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

107. Развитие Северо-Западным бассейновым филиалом объектов портовой инфраструктуры и флота [Электронный ресурс] // Официальный сайт ФГУП РОСМОРПОРТ : [сайт]. – 2019. – Режим доступа : URL: http://www.rosmorport.ru/filials/spb_developmentofports/ (дата обращения 03.07.2019)

108. Результаты комплексных экспедиционных исследований на акватории создаваемого государственного природного заповедника «Ингерманландский» [Текст] / М. Б. Шилин, С. А. Коузов, Е. К. Ланге [и др.] // Ученые записки РГГМУ. – 2014. – № 35 – С. 7–30.

109. Реконструкция Санкт-Петербургского морского канала (Работа 1). Подходной канал к многофункциональному морскому перегрузочному комплексу «Бронка». Акватория многофункционального морского перегрузочного комплекса «Бронка» (1-я очередь). Перечень мероприятий по охране окружающей среды. Оценка воздействия на окружающую среду. [Текст]: проектные материалы / ООО «Эко-Экспресс-Сервис». – СПб., 2013. – 313 с. – Инв. № 9619.

110. Реконструкция Санкт-Петербургского морского канала (работа 1). Подходной канал к многофункциональному морскому перегрузочному комплексу «Бронка». Акватория многофункционального морского перегрузочного комплекса «Бронка» (2-я очередь). Перечень мероприятий по охране окружающей среды. Оценка воздействия на окружающую среду. [Текст]: проектные материалы / ООО «Эко-Экспресс-Сервис». – СПб., 2014. – 193 с. – Инв. № 4259.

111. Роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum*) [Электронный ресурс] // Мой акваклуб. – Режим доступа : <http://myaquacub.ru/aquafloa/mediunflora/273-ceratophyllum-demersum> (дата обращения 04.05.2019). (

112. Румянцев, В. А. Уровень воды водной системы «Ладога – Нева – Невская губа» в современных природных и антропогенных условиях [Текст] / В. А. Румянцев, Ю. А. Трапезников // Научное обеспечение реализации "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года". – 2015. – Т. 1. – С. 464–468.

113. Савельева, С. Б. Особенности и типология видов морской хозяйственной деятельности [Текст] / С. Б. Савельева, А. Н. Савельев, И. В. Козинский // Вестник МГТУ. – 2006. – Т. 9, № 4. – С. 665–668.

114. Савельева, С. Б. Природные и организационно-экономические особенности морской хозяйственной деятельности [Текст] / С. Б. Савельева // Вестник МГТУ. – 2005. – Т. 8, № 2. – С. 306–309.
115. Санкт-Петербург в 2012 году / Петростат. – СПб., 2013. – 226 с.
116. Силин, А. Н. Социальный менеджмент: Словарь-справочник: учебное пособие [Текст] / А. Н. Силин. – М.: Изд. Университетская книга, 2009. – 176 с.
117. Синецкий, В. П. Поиск закономерностей [Текст] // Теория и практика морской деятельности / В. П. Синецкий ; под ред. Г. К. Войтоловского. – М.: СОПС, 2007. – Вып. 12. – 304 с.
118. Современное состояние рыбного промысла и эффективность использования сырьевой базы в Финском заливе Балтийского моря [Текст] / А. С. Шурухин, А. А. Лукин, А. П. Педченко, С. Ф. Титов // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 160. – С. 60–69.
119. Создание комплексной устойчивой сети мониторинга биоразнообразия в Арктике. Пятилетний план реализации Программы мониторинга биоразнообразия Приполярья (СВМР) [Текст] : отчет / М. Дж. Гилл, М. Райяр, К. Цёклер, Р. Б. Смит. – 2008. – № 14. – 51 с. – (Серия CAFF CBMP Report).
120. Солощук, П. В. Изменение климата и ледовых условий водной системы Финский Залив–Невская Губа–река Нева в осенне-зимний период за последние 15 лет [Текст] / П. В. Солощук // Ученые записки РГГМУ. – 2010. – № 14. – С. 34–41.
121. Состояние гидробиологических сообществ района аванпорта Бронка после окончания дреджинговых работ (осень 2015) [Текст] / В. А. Жигульский, М. Б. Шилин, Н. С. Царькова, С. А. Коузов // Ученые записки РГГМУ. – 2016. – № 43. – С. 208–222.
122. Состояние окружающей среды Санкт-Петербурга в 2012 году. Стат. сб./ Петростат. – СПб., 2013. – 24 с.
123. Состояние окружающей среды Санкт-Петербурга в 2013 году. Стат. сб./ Петростат. – СПб., 2014. – 25 с.
124. Состояние окружающей среды Санкт-Петербурга в 2014 году [Текст] : стат. сб./ Петростат. – СПб., 2015. – 27 с.
125. Социально-экономическое развитие Кронштадтского района Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] : официальный сайт администрации г.Кронштадт. – Режим доступа : <http://nash-kronshtadt.ru/socialno-ehkonomicheskoe-razvitie.html> (дата обращения 25.06.2019).
126. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года : [утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2019 года N 1930-р] [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

127. Стрижов, В. В. Уточнение экспертных оценок с помощью измеряемых данных [Текст] / В. В. Стрижов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2006. – Т. 72, № 7. – С. 59–64.

128. Сухачева, Л. Л. Экологические и другие аспекты дреджинга при реализации крупных инженерных проектов в восточной части Финского залива — обобщение данных многолетних аэрокосмических наблюдений [Текст] / Л. Л. Сухачева // Ученые записки РГГМУ. – 2014. – № 35. – С. 124–132.

129. Усанов, Б. П. Новый «удар» по Невской губе [Текст] / Б. П. Усанов, С. В. Викторов, Л. Л. Сухачева // «Транспорт Российской Федерации». – 2008. – № 3–4 (16–17) – С. 70–74.

130. Условия экологической безопасности портостроения в Финском заливе: I. Оценка и нормирование воздействия на экосистему [Текст] / В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский, Н. А. Соловей, О. А. Заболоцкая // Гидротехника. – 2010. – № 3 (20). – С. 77–81.

131. Уязвимость экосистем береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу [Текст] / М. Б. Шилин, В. Б. Погребов, М. А. Мамаева, С. В. Лукьянов, Ю. А. Леднова // Ученые записки РГГМУ. – 2012. – № 25. – С. 107–121.

132. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] : Официальный сайт. – Режим доступа : <http://www.gks.ru/> (дата обращения 25.06.2019).

133. Федоров, М. П. Прибрежные природно-технические системы : принципы формирования, устойчивость, экологическая безопасность [Текст] : моногр. / М. П. Федоров, М. Б. Шилин // Основные концепции современного берегопользования. Т. 2. // под ред. Л. Н. Карлина, В. В. Денисова, М. Б. Шилина. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2010. – С. 8–42.

134. Фокин, Д. П. Содержание и распределение металлов в донных отложениях восточной части Финского залива [Текст] / Д. П. Фокин, Г. Т. Фрумин // Общество. Среда. Развитие. – 2011. – № 1. – С. 210–214.

135. Функциональное зонирование Баренцева и Карского морей / В. В. Денисов, С. Л. Дженюк, А. П. Жичкин, Г. В. Ильин // [Электронный ресурс]. – С. 1–11. – Режим доступа : <https://docplayer.ru/26647970-Funkcionalnoe-zonirovanie-barenceva-i-karskogo-morey.html> (Дата обращения 04.11.2015).

136. Шахвердов, В. А. Особенности загрязнения современных донных осадков и природных вод восточной части Финского залива и его береговой зоны [Текст] / В. А. Шахвердов // Региональная экология. – 2015. – № 1 (36). – С. 56–64.

137. Шахвердов, В. А. Типы и факторы загрязнения восточной части Финского залива и его береговой зоны [Текст] / В. А. Шахвердов, М. В. Шахвердова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2015. – № 176. – С. 101–113.

138. Шилин, М. Б. Геоэкологический мониторинг прибрежных природно-технических систем [Текст] : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.36 / Шилин Михаил Борисович. – СПб., 2006. – 293 с.
139. Шилин, М. Б. Исследование эффекта засыпания грунтом дноуглубления донных беспозвоночных [Текст] / М. Б. Шилин, Ю. А. Леднова // День Балтийского моря : сб. тез. докл. XII междунар. эколог. форума. – СПб.: Изд. ООО «Цветпринт», 2011. – С. 144–145.
140. Шилин, М. Б. Техносферная безопасность дреджинга [Текст] / М. Б. Шилин, Д. А. Голубев, Ю. А. Леднова. – СПб.: Изд. Политехнического ун-та, 2010. – 385 с.
141. Шилин, М. Б. Экологическая чувствительность береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу [Текст] : моногр. / М. Б. Шилин, В. Б. Погребов // Основные концепции современного берегопользования. Т. 3. / под ред. Л. Н. Карлина, М. Б. Шилина. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2011. – С. 168–189.
142. Шорохова, И. С. Статистические методы анализа [Текст] : учебное пособие / И. С. Шорохова, Н. В. Кисляк, О. С. Мариев. – Екатеринбург: Изд. Урал. ун-та, 2015. – 300 с.
143. Экологическая обстановка в Кронштадтском районе Санкт-Петербурга [Текст]. – СПб., 2017. – 17 с.
144. Экологическая обстановка в Петродворцовом районе Санкт-Петербурга [Текст]. – СПб., 2017. – 28 с.
145. Экологические аспекты воздействия гидростроительства на биоту акватории восточной части Финского залива [Текст] : сб. науч. тр. Вып. 331 : [в 2 т.] / ФГНУ «ГосНИОРХ» ; под ред. Г. М. Лаврентьевой и О. Н. Сулопаровой. – СПб, 2006.
146. Экологические основы управления природно-техническими системами [Текст] / под ред. М. П. Федорова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 506 с.
147. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы [Текст] / под ред. А. Ф. Алимова, С. М. Голубкова ; Зоологический институт РАН. – М.: ООО Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 477 с.
148. 2008 Environmental Performance Index [Text] / D. C. Esty [et al.]. – New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2008. – 382 p.
149. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science' [Text] / B. L. Turner, R. E. Kasperson, P. A. Matson [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2003. – Vol. 100, № 14. – P. 8074–8079.
150. A Handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management: IOC Manuals and Guides № 46 [Text] / S. Heileman (Ed.). – Paris: UNESCO, 2006. – 166 p.

151. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals [Text] / V. L. G. Todd, I. B. Todd, J. C. Gardiner [et al.] // ICES Journal of Marine Science. – 2015. – Vol. 72, № 2 – P. 328–340.
152. Adger, W. N. Vulnerability [Text] / W. N. Adger // Global Environmental Change. – 2006. – Vol. 16, № 3. – P. 268–281.
153. An aggregation framework to link indicators associated with multifunctional land use to the stakeholder evaluation of policy options [Text] / M. L. Paracchini, C. Pacini, M. L. M. Jones, M. Perez-Soba // Ecological indicators. – 2011. – Vol. 11. – P. 71–80.
154. An assessment of the potential impact of dredging activity on the Tamar Estuary over the last century: Bathymetric and hydrodynamic changes [Text] / A. J. Bale, R. J. Uncles, A. Villena-Lincoln, J. Widdows // Hydrobiologia. – 2007. – Vol. 588. – P. 83–95.
155. Arctic biodiversity trends 2010 – Selected indicators of change [Text] / Eds. T. Kurvits, B. Alfthan, E. Mork. – Iceland, Akureyri: CAFF International Secretariat, 2010. – 124 p.
156. Assessing the status and trends of the coastal ecosystems in the dredging material deposit areas [Text] / M. Shilin, S. Lukjanov, L. Zhakova, M. Mamaeva, Ju. Lednova // 8th Baltic Sea Science Congress. – SPb, 2011. – P. 221.
157. Assessment of coastal protection as an ecosystem service in Europe [Text] / C. Liqueste, G. Zulian, I. Delgado [et al.] // Ecological Indicators. – 2013. – Vol. 30. – P. 205–217.
158. Assessment of dredging-induced sedimentation effects on winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) hatching success: results of laboratory investigations [Text] / W. J. Berry, N. I. Rubinstein, E. K. Hinchey [et al.] // Western Dredging Association Technical Conference and Texas A&M, Nashville, TN, June 05–08, 2011. – 2011. – P. 47–57.
159. Birkmann, J. Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements [Text] // Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies / J. Birkmann ; J. Birkmann (Ed.). – Tokyo: UNU-Press, 2006. – P. 55–77.
160. Bossel, H. Assessing viability and sustainability: A systems-based approach for deriving comprehensive indicator sets [Text] / H. Bossel // Conservation Ecology. – 2002. – Vol. 5. – P. 247–266.
161. Bray, R. Dredging: a handbook for engineers [Text] / R. Bray, A. Bates, J. Land. – London: Arnold, 1997. – 434 p.
162. Bray, R. N. Dredging for development. [Electronic resource] / R. N. Bray, M. Cohen // A joint publication of IADC and IAPH. – 6th edition. – 2010. – 83 p. – Режим доступа: www.iadc-dredging.com (дата обращения 19.04.2019).

163. Brooks, N. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation [Text] / N. Brooks, W. N. Adger, P. M. Kelly // *Global Environmental Change*. – 2005. – Vol. 15. – P. 151–163.

164. Callaert, B. The Taparura project: sustainable coastal remediation and development at Sfax, Tunisia [Text] / B. Callaert, J. Van Den Bogaert // *Terra-et-Aqua*. – 2010. – Vol. 118. – P. 3–8.

165. Chapapría, N. E. New trends in maritime transportation and port activity [Text] / N. E. Chapapría // *International Journal of Transport Development and Integration*. – 2017. – Vol. 1, № 4. P. 624–632.

166. *Chironomus plumosus* – Buzzer Midge [Электронный ресурс] // First nature. – Режим доступа : <https://www.first-nature.com/insects/d-chironomus-plumosus.php> (дата обращения 02.05.2019).

167. Chusov, A. N. Ecological assessment of dredging in the Eastern Gulf of Finland [Text] / A. N. Chusov, Ju. Lednova, M. Shilin // 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), Klaipeda, 8–10 May 2012. – 2012. – P. 1–4.

168. Coastal Fluxes in the Anthropocene: The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme [Text] / Eds. C. L. Crossland [et al.]. – Berlin: Springer, 2005. – 232 p.

169. Coastal zone management act of 1972 (as amended) [Electronic resource]. – URL: https://coast.noaa.gov/data/czm/media/CZMA_10_11_06.pdf (дата обращения 17.06.2015).

170. Coastal Zone Policy. The situation in Europe's coastal zones [Electronic resource]. – Режим доступа : <http://ec.europa.eu/environment/iczm/situation.htm> (дата обращения 15.03.2019).

171. Collins, A. The ecological footprint: New developments in policy and practice [Text] / A. Collins, A. Flynn – Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015. – 232 p.

172. Conrad, E. Decoupling Economic Growth and Environmental Degradation: Reviewing Progress to Date in the Small Island State of Malta [Text] / E. Conrad, L. F. Cassar // *Sustainability*. – 2014. – Vol. 6. – P. 6729–6750.

173. Decision-making under great uncertainty: environmental management in an era of global change [Text] / S. Polasky, S. R. Carpenter, C. Folke, B. Keeler // *Trends Ecological Evolution*. – 2011. – Vol. 26, № 8. – P. 398–404.

174. Direct and indirect impacts of aggregate dredging [Text] / H.M. Tillin, A. J. Houghton, J. E. Saunders [et al.] // Marine aggregate levy sustainability fund (MALSF). Science monograph Series. – 2011. – № 1. – 41 p.

175. Ecosystems and human well-being [Text] : [сборник]. In 4 Volumes. Vol. 1. Current state and trends / R. Hassan, R. Scholes, N. Ash (Eds.). – Washington ; Covelo ; London: Islandpress, 2005. – 901 p.

176. *Elodea canadensis* [Электронный ресурс] : Global Invasive Species Database. – Режим доступа : <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=290> (дата обращения 04.05.2019).
177. Elsaheed, G. H. The impact of Dredging on Coastal Environments [Text] / E. A. Gamal // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2011. – Vol. 5 (2). – P. 74–81.
178. Encyclopedia of Coastal Science [Text] / Eds. C. W. Finkl, C. Makowski. – 2nd Edition. – Springer International Publishing, 2019. – 1983 p. – (Series: Encyclopedia of Earth Sciences Series).
179. Environmental aspects of dredging [Text] / R. N. Bray (Ed.). – London: Taylor&Francis, 2008. – 386 p.
180. Environmental indicator approach for dredging [Text] / Ju. Lednova, G. Gogoberidze, V. Zhigulsky [et al.] // Proceedings of the Fourteenth International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 19, 22-26 October 2019 / E. Ozhan (Ed.). – Turkey, Mugla, Ortaca, 2019. – Vol. 1. – P. 161–172.
181. Environmental Indicators for North America [Text] / C. Johnstone (Ed.). – UNEP, 2006. – 158 p.
182. Erftemeijer, P. L. A. Environmental impacts of dredging on seagrass: a review [Text] / P. L. A. Erftemeijer, R. R. Robin Lewis III // Mar. Pol. Bul. – 2006. – Vol. 52, № 12. – P. 1553–1572.
183. Essink, K. Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management [Text] / K. Essink // J. Coast. Conserv. – 1999. – Vol. 5. – P. 69–80.
184. European maritime activities and potential environmental issues [Electronic resource] : [site] / European Environment Agency. – URL: <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/maritime-activities/european-maritime-activities-and-potential#tab-related-briefings> (дата обращения 29.02.2020).
185. Evaluating Environmental Effects of Dredged Material Management Alternatives [Text] : A Technical Framework // Environmental protection agency. – USA, 2004. – 89 p.
186. Folke, C. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses [Text] / C. Folke // Global Environmental Change. – 2006. – Vol. 16, № 3. – P. 253–267.
187. Framework for mapping the drivers of coastal vulnerability and spatial decision making for climate-change adaptation: A case study from Maharashtra, India [Text] / P. Krishnan, P. S. Ananthan, R. Purvaja [et al.] // Ambio. – 2019. Vol. 48 (2). – P. 192–212.
188. Gornitz, V. Vulnerability of the US to future sea level rise [Text] / V. Gornitz, T. W. White, R. M. Cushman // 7th symposium on coastal and ocean management, Long Beach, CA (USA), 8-12 July 1991. – United States, 1991. – P. 1–17.
189. Gubbay, S. A review of marine environmental indicators reporting on biodiversity aspects of ecosystem health [Text] : report / The RSPB ; S. Gubbay. – UK, 2004. – 74 p.

190. Guisado-Pintado, E. Ecosystem Services and Their Benefits as Coastal Protection in Highly Urbanised Environments [Text] / E. Guisado-Pintado, F. Navas, G. Malvarez // Journal of Coastal Research. – 2016. – Vol. 2 (75). – P. 1097–1011.

191. Haines-Young, R. H. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being [Text] // Ecosystem Ecology: A New Synthesis / R. H. Haines-Young, M. B. Potschin ; D. G. Raffaelli, C. L. J. Frid (Eds.). – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – P. 110–139.

192. Hall, S. J. Physical disturbance and marine communities: life in unconsolidated sediments [Text] / S. J. Hall // Oceanography and Marine Biology: an Annual Review. – 1994. – Vol. 32. – P. 179–239.

193. Hilsenhoff, W. L. The Biology of *Chironomus plumosus* (Diptera: Chironomidae) in Lake Winnebago, Wisconsin [Text] / W. L. Hilsenhoff // Annals of the Entomological Society of America. – 1966. – Vol. 59, № 3. – P. 465–473.

194. Impacts of suspended sediments on fertilization, embryonic development, and early larval life stages of the Pacific herring, *Clupea pallasii* [Text] / F. G. Griffin, E. H. Smith, C. A. Vines, G. N. Cherr // Biol. Bull. – 2009. – Vol. 216, № 2. – P. 175–187.

195. Indicators and Information Systems for Sustainable Development [Text] : A report to the Balaton Group / D. Meadows (Ed.). – Vermont: Sustainability Institute, 1998. – 78 p.

196. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies [Text]. – 3rd ed. – New York: United Nations, 2007. – 99 p.

197. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth [Text] : report / OECD. – SG/SD (2002) 1/FINAL. – Paris, 2002. – 108 p. – (Серия Sustainable development).

198. Integrated Indicator Approach for Economic-Environmental Assessment of Coastal Local Municipalities [Text] / J. Lednova, A. Chusov, M. Shilin, G. Gogoberidze // 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2018. – 2019. – P. 1–10.

199. Kaly, U. L. The Demonstration Environmental Vulnerability Index (EVI) [Text] : Technical report / U. L. Kaly, C. R. Pratt, J. Mithchell. – 2004. – № 384. – 388 p. – (SOPAC. Technical report).

200. Karlin L. Evaluation of ICZM implementation in the Russian Federation [Text] / L. Karlin, N. Plink // The 9th International Conference on the Mediterranean coastal environment, MEDCOAST 2009 : proceedings int. conf. Sochi, November, 10–14, 2009 / E. Ozhan (Ed.). – Turkey: MEDCOAST Foundation Mugla, 2009. – Vol. 1. – P. 49–54.

201. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone. Implementation Plan [Text] : Report : report № 33 / The international Geosphere-Biosphere Programme ; J. E. Pernetta and J. D. Milliman (Eds.). – Stockholm, 1995. – 215 p.

202. Lednova, J. A. Eco-monitoring of dredging in the Gulf of Finland [Text] / J. Lednova, A. Chusov, M. Shilin // The 10th Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 2013 – MEDCOAST 2013 Joint Conference 2013 : proceedings int. conf., Marmaris, October, 30 – November, 03, 2013 / E. Ozhan (Ed.). – Turkey: MEDCOAST Foundation Mugla, 2013. – Vol. 2. – P. 1024–1034.

203. Linking sociological and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience / F. Berkes, C. Folke (Eds.). – Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1998. – 459 p.

204. Maclaren, V. W. Urban Sustainability Reporting [Text] / V. W. Maclaren // Journal of the American Planning Association. – 1996. – Vol. 62. – P. 184–203.

205. MarineTraffic [Electronic resource] : Global Ship Tracking Intelligence. – Режим доступа : <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:29.7/centery:60.0/zoom:11> (дата обращения 29.06.2019).

206. McLaughlin, S. A multiscale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? [Text] / S. McLaughlin, J. A. G. Cooper // Environmental hazards. – 2010. – Vol. 9. – P. 233–248.

207. Medium- and long-term recovery of estuarine and coastal ecosystems: patterns, rates and restoration effectiveness [Text] / A. Borja, D. M. Dauer, M. Elliott, C. A. Simenstad // Estuaries and Coasts. – 2010. – Vol. 33. – P. 1249–1260.

208. Methods for assessing coastal vulnerability to climate change [Text] : Report : ETC CCA Technical Paper 1/2011 / European Environment Agency ; E. Ramieri [et al.]. – 2011. – 93 p.

209. Model law on sustainable management of coastal zones and European code of conduct for coastal zones [Text]. – Council of Europe Pub., 2000. – Vol. 101. – 114 p. – (Серия Nature and Environment).

210. Moldan, B. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets [Text] / B. Moldan, S. Janouskova, T. Hak // Ecological Indicators. – 2012. – Vol. 17. – P. 4–13.

211. Natural and human induced indicators in coastal vulnerability and risk assessment [Text] / G. Alexandrakis, S. Petrakis, G. Ghionis [et al.] // Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ. – 2014. – P. 1–12.

212. Nature protected area as compensation action [Text] / A. Chusov, J. Lednova, V. Zhigulsky [et al.] // Proceedings of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017, 31 October–04 November 2017, Mellieha, Malta / E. Ozhan (Ed.). – Turkey: MEDCOAST Foundation Mugla, 2017. – Vol. 1. – P. 257–268.

213. Newell, R. C. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed [Text] / R. C. Newell, L. J. Seiderer, D. R. Hitchcock // *Oceanography and Marine Biology: an annual review*. – UCL Press, 1998. – Vol. 36. – P. 127–178.

214. OECD environmental indicators — development, measurement and use. Reference Paper [Text] / OECD. – Paris, 2003. – 37 p.

215. OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and user guide [Text]. – France: OECD, 2008. – 158 p.

216. OSPAR Commission 2008: Assessment of the environmental impact of land reclamation [Text]. – 2008. – 37 p. – (Biodiversity Series).

217. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems [Text] / L. Burke, Y. Kura, K. Kassem [et al.] // World Resources Institute. – Washington D.C., 2001. – 77 p.

218. Pollution history of Neva Bay bottom sediments (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea) [Text] / D. Ryabchuk, H. Vallius, V. Zhamoida [et al.] // *Baltica*. – 2017. – Vol. 30, № 1. – P. 31–46.

219. Preen, A. R. Flood and cyclone related loss, and partial recovery, of more than 1000 km² of seagrasses in Hervey Bay, Queensland, Australia [Text] / A. R. Preen, W. J. Lee Long, R. G. Coles // *Aquatic Botany*. – 1995. – Vol. 52. – P. 3–17.

220. Ranking the ecological relative status of exploited marine ecosystems [Text] / M. Coll, L. J. Shannon, D. Yemane [et al.] // *ICES Journal of Marine Science*. – 2010. – Vol. 67. – P. 769–786.

221. Report of the United Nations conference on environment and development [Text] : Materials of the Conference on environment and development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992 : A/CONF.151/26 Vol. 2. – Paris : UNESCO Publishing, 1992. – 24 p.

222. Russian Arctic Basins. LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions [Text] / V. V. Gordeev, E. N. Andreeva, A. P. Lisitzin [et al.]. – Germany, Geesthacht: LOICZ, 2006. – № 29. – 95 p. – (Серия LOICZ Reports & Studies).

223. Sabol, B. Dredging effects on eelgrass (*Zostera marina*) distribution in a New England Small Boat Harbor [Text] / B. Sabol, D. Shafer, E. Lord // *Journal of Marine Environmental Engineering*. – 2005. – Vol. 8, № 1. – P. 57–81.

224. Sala, S. A systemic framework for sustainability assessment [Text] / S. Sala, B. Ciuffo, P. Nijkamp // *Ecological economics*. – 2015. – Vol. 119 – P. 314–325.

225. Scenarios for integrated river catchment and coastal zone management [Text] / L. Ledoux, N. Beaumont, R. Cave, R. K. Turner // *Regional Environmental Change*. – 2005. – Vol. 5, № 2. – P. 82–96.

226. Sedimentation: potential biological effects of dredging operations in estuarine and marine environments [Text] : report : DOER Technical Notes collection (TN DOER-E20) / U. S. Army Engineer Research and Development Center ; D. H. Wilber, W. Brostoff, D. G. Clarke, G. L. Ray. – Vicksburg, 2005. – 14 p.

227. Ships, Saints and Sealore: Cultural Heritage and Ethnography of the Mediterranean and the Red Sea [Text] / D. A. Agius, T. G. and A. Trakadas (Eds.). – Oxford: Archaeopress Archaeology, 2014. – 170 p.

228. Singh, A. Assessing Coastal Vulnerability: Developing a global index for measuring risk [Text] / A. Singh, S. Pathirana, H. Shi. – UNEP, 2005. – 54 p.

229. Smit, B. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability [Text] / B. Smit, J. Wandel // Global Environmental Change. – 2006. – Vol. 16, № 3. – P. 282–292.

230. Some Aspects of Quantitative Assessments and Management of Hydraulic Works Impact on Marine and Coastal Ecosystems [Text] / V. Zhigulsky, G. Gogoberidze, D. Zhigulskaya [et al.] // 2018 IEEE/OES Baltic International Symposium, BALTIC 2018, Klaipeda, Lithuania, 2018. – 2019. – P. 1–9.

231. Strengthening the knowledge base on regional climate variability and change: application of a multi-scale coastal risk index at regional and local scale in the Mediterranean [Text] : Report : Technical Report – September 2015 / Plan Bleu ; A. Satta [et al.]. – 2015. – 175 p.

232. Sustainable development, evaluation and policy-making: theory, practice and quality assurance [Text] / A. von Raggamby and F. Rubik (Eds.). – Cheltenham: Edward Elgar, 2012. – 336 p.

233. Systematic Review of Coastal Vulnerability Assessment Studies along Andhra Pradesh, India: A Critical Evaluation of Data Gathering, Risk Levels and Mitigation Strategies [Text] / K. Kantamaneni, N. N. V. S. Rani, L. Rice [et al.] // Water. – 2019. – Vol. 11, (2). – P. 1–22.

234. Telesh, I. V. The Neva Estuary Ecosystem [Text] / I. V. Telesh, S. M. Golubkov, A. F. Alimov // Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies (Analysis and Synthesis) / U. Schiewer (Ed.). – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – Vol 197.

235. The 10 Messages for 2010 – Coastal ecosystems [Text] / European Environment Agency : Ed. F. Schutyser. – Luxemburg: Office for Official Publications of the European Union, 2010. – 17 p.

236. The Section Bank: ecological communities and strategies for the minimization of dredging impacts [Text] / A. C. Chesire, D. J. Miller, S. Murray-Jones [et al.] : Ed. A. Cheshire. – South Australia, West Beach: SARDI Aquatic Sciences, 2002. – 60 p.

237. Trend analysis of indicators: a comparison of recent changes in the status of marine ecosystems around the world [Text] / J. L. Blanchard, M. Coll, V. M. Trenkel [et al.] // ICES J. Mar. Sci. – 2010. – Vol. 67. – P. 732–744.

238. Turner, R. K. Towards integrated modelling and analysis in coastal zones: principles and practices [Text] / R. K. Turner, W. N. Adger, I. Lorenzoni. – The Netherlands, Texel: LOICZ, 1998. – № 11. – 122 p. – (Серия LOICZ Reports & Studies).

239. Using indicators for evaluating, comparing, and communicating the ecological status of exploited marine ecosystems. 2. Setting the scene [Text] / Y.-J. Shin, L. J. Shannon, A. Bundy [et al.] // ICES Journal of Marine Science. – 2010. – Vol. 67. – P. 692–716.

240. Using the pressure-state-response model to develop indicators of sustainability: OECD framework for environmental indicators [Text]. – 2004. – 11 p.

241. Wu, J. Sustainability indicators and indices: an overview [Text] // Handbook of Sustainable Management / J. Wu, T. Wu ; Eds. C. N. Madu, C. Kuei. – Imperial College Press, 2012. – P. 65–86.

242. Yoo, G. A methodology to assess environmental vulnerability in a coastal city: Application to Jakarta, Indonesia [Text] / G. Yoo, A. R. Kim, S. Hadi // Ocean & Coastal Management. – 2014. – Vol. 102. – P. 169–177.