



003476909

*На правах рукописи*

ДУБРОВСКАЯ НАТАЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА *Нессель*

**ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ  
ВТОРИЧНО ОСВАИВАЕМЫХ УЧАСТКОВ  
ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология по техническим наукам

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2009

17 СЕН 2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» на кафедре «Экология промышленных зон и акваторий»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор  
Нифонтов Юрий Аркадьевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Кутепов Юрий Иванович

кандидат геолого-минералогических наук  
Хархордин Иван Леонидович

Ведущая организация:

ЗАО "Экологический институт" МАНЭБ

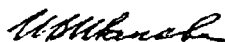
Защита состоится 06 октября 2009 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.244.01 при Северо-Западном государственном заочном техническом университете по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д.5, ауд. 301

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северо-Западного государственного заочного технического университета

Автореферат разослан

04 сентября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Иванова И.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В последние годы в крупных городах, в частности в Санкт-Петербурге, особенно остро встает вопрос о возможности вторичного использования выведенных из хозяйственного оборота территорий. Это территории, которые ранее были заняты промышленными объектами и местами складирования отходов производства и потребления. Для них характерны сложные инженерно-экологические и инженерно-геологические условия, а также комплексное загрязнение всех компонентов окружающей среды и, как правило, низкие прочностные характеристики оснований. Это создает реальную опасность прямого контакта человека с загрязняющими веществами, оказывает отрицательное воздействие на все компоненты окружающей природной среды и обуславливает проведения целого ряда специальных мероприятий.

Исследованиями проблемы обеспечения экологической безопасности территорий вводимых во вторичное использование в разное время занимались такие специалисты, как: Богданов С.В., Венцолис Л.С., Ворожищев Я.С., Гунин С.О., Дашко Р.Э., Киселев А.В., Киселев Г.В., Кутепова Н.А., Кутепов Ю.И., Ласкин Б.М., Масликов В.И., Нифонтов Ю.А., Растоскуев В.В., Семин Е.Г., Сиротюк В.В., Скорик Ю.И., Сметанин В.И., Соломин И.А., Сольский С.В., Федоров М.П., Хархордин И.Л. и др.

На сегодняшний день, существуют различные методы и способы подготовки загрязненных территорий к освоению. Традиционно, экологическая опасность ликвидируется путем снятия толщи загрязненных грунтов с последующим их замещением чистыми грунтами. Более эффективным способом «оздоровления» загрязненных территорий мегаполисов представляется комплекс технологических решений по обустройству инженерно-экологических защитных экранов (ИЭЭЭ), представляющих собой конструкцию из нескольких последовательных систем и (или) элементов систем, в состав которых входят противодиффузионные (геомембраны, бентоматы и др.), армирующие (георешетки, геосетки и др.) и дренажные геосинтетические материалы, а так же защитные и подстилающие слои минеральных материалов.

Несмотря на значительный объем проведенных ранее научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на сегодняшний день недостаточно проработаны общие подходы к обустройству загрязненных территорий с применением геосинтетических материалов в зависимости от конкретных условий, сложившихся на территории, а также отсутствуют рекомендации и методики в области эксплуатации обустроенных территорий.

Таким образом, инженерно-экологическое обоснование локализации загрязнений вторично осваиваемых участков территории, которое позволяет с учетом их функционального назначения создать высоконадежные, экологически безопасные природно-технические системы

и прогнозировать их уровень безопасности, является своевременным и актуальным.

Цель диссертации заключается в разработке методических подходов к инженерно-экологическому обоснованию локализации загрязнений на вторично осваиваемых территориях Санкт-Петербурга.

**Основные задачи исследования:**

- анализ инженерно-экологических и инженерно-геологических условий территорий перспективных для освоения;
- анализ и оценка эффективности существующих способов и методов инженерной подготовки для вторичного освоения загрязненных территорий и упрочнения слабых оснований;
- обоснование количественного значения величины поправочного коэффициента в расчетах прочности инженерно-экологического защитного экрана, возникающего за счет синергетического эффекта;
- разработка концепции и алгоритма обоснования обустройства инженерно-экологического защитного экрана на вторично осваиваемых территориях со сложными инженерно-экологическими и инженерно-геологическими условиями;
- научное обоснование рациональных систем и конструкций инженерно-экологического защитного экрана на вторично осваиваемых территориях на основе численного моделирования пространственных фильтрационных потоков в областях фильтрации сложной конфигурации с количественной оценкой эффективности предлагаемых инженерных решений;
- разработка методики оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты (с учетом экологических коэффициентов значимости), которая позволяет контролировать уровень экологической безопасности вторично осваиваемых территорий.

**Научная новизна работы:**

- выполнена классификация методов обеспечения экологической безопасности и укрепления слабых оснований, в которой на основе анализа инженерно-экологических и инженерно-геологических условий территорий мегаполисов, оценки эффективности существующих методов обеспечения экологической безопасности и укрепления слабых оснований, выделены основные группы методов обеспечения инженерно-экологической безопасности вторично осваиваемых территорий.
- предложена концепция и алгоритм обоснования обустройства инженерно-экологического защитного экрана на осваиваемых территориях со сложными инженерно-геологическими и инженерно-экологическими условиями, позволяющая интегрировать в единый инженерно-экологический комплекс совокупность локальных систем защиты (системы защиты поверхностных вод, защиты подземных вод, защиты атмосферного воздуха, стабилизации осадков конструкции, оптимизации консолидации

основания, газоотведения и др.) в зависимости от конкретных условий, сложившихся на территории.

– впервые, экспериментальными методами получен поправочный коэффициент, вводимый в расчетные зависимости прочности инженерно-экологического защитного экрана, повышающий общий модуль упругости конструкции на 14-36 %, снижающий величины необратимых деформаций в 1,5÷2,0 раза и увеличивающий несущую способность в 2,0÷3,0 раза, что обеспечивается за счет возникновения синергетического эффекта от комплексного использования геосинтетических и минеральных материалов при его обустройстве.

– разработана методика оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты, основанная на использовании полученных экспертным путем показателей состояния сооружения и коэффициентов экологической значимости, и позволяющая выявить отклонения конструкции на стадии проектирования, строительства и эксплуатации от требований действующих норм и принятых проектных решений, и позволяющая контролировать уровень экологической безопасности территорий.

#### **Практическая значимость работы:**

– разработаны типовые конструкции инженерно-экологического защитного экрана территорий, планируемых к вторичному освоению и характерных для Санкт-Петербурга;

– предложен алгоритм применения повышающего коэффициента при расчете ожидаемой прочности конструкции инженерно-экологического защитного экрана за счет возникновения синергетического эффекта от совместного использования геосинтетических материалов и минерального заполнителя;

– разработана методика оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты.

#### **Основные результаты и положения, выносимые на защиту:**

1. Классификация методов обеспечения инженерно-экологической безопасности вторично осваиваемых территорий.

2. Количественные значения поправочного коэффициента, вводимого в расчетные зависимости прочности инженерно-экологического защитного экрана с учетом возникновения синергетического эффекта от комплексного использования геосинтетических и минеральных материалов при его обустройстве, полученные экспериментальными методами.

3. Методика оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты (с учетом экологических коэффициентов значимости), которая позволяет контролировать уровень экологической безопасности вторично осваиваемых территорий.

### **Апробация работы**

Результаты исследований докладывались на региональной научно-технической конференции с международным участием «Кораблестроительное образование и наука – 2005», СПбГМТУ (г. Санкт-Петербург, 2005 г.), межрегиональной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения» (Воркута, 2006, 2007 гг.), международной научно-практической конференции «Роль мелиорационного водного хозяйства в реализации национальных проектов» (г. Москва, 2008 г.), научно-практической молодежной конференции "Чистая вода — здоровье нации" (Санкт-Петербург, 2008 г.), на международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (г. Санкт-Петербург, 2007, 2008, 2009 г.г.), на Невском международном экологическом конгрессе (г. Санкт-Петербург, 2008, 2009 г.г.).

Имеется акт о внедрении результатов научно-исследовательских работ и стандарт предприятия «Методика оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты» ООО «НПК Проектводстрой».

Отдельные этапы результатов исследований докладывались на заседаниях кафедры «Экология промышленных зон и акваторий» в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете, секции ученого совета ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» «Основания, грунтовые и подземные сооружения», технических советах ООО «НПК Проектводстрой».

### **Методы исследований**

При решении поставленных задач использовались экспериментальные методы (штамповые испытания) для определения прочностных характеристик грунтов, защитных и подстилающих слоев минеральных материалов; методы полевых режимных наблюдений за осадками основания, уровнями грунтовых вод, дренажным стоком и др.; методы численного моделирования пространственных фильтрационных потоков в областях фильтрации сложной конфигурации, основанные на апробированных математических моделях фильтрации в насыщенных и ненасыщенных средах; методы экспертных оценок; методы статистической обработки результатов экспериментов и др.

### **Реализация результатов работы**

Результаты работы внедрены в проектной практике ООО «НПК Проектводстрой» и строительством на ряде объектов в городе Санкт-Петербург. Основные выводы и положения диссертационной работы использованы в учебном процессе при чтении курса лекций и ведении семинарских занятий по дисциплине: «Промышленная экология» и «Теоретические основы защиты окружающей среды» в СПбГМТУ, а также при чтении лекций в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» по курсу «Эксплуатация и безопасное обслуживание гидротехнических сооружений» на курсах повышения квалификации специалистов.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, из них 3 в сборниках, рекомендованных ВАК.

Программа исследований по теме диссертации предусматривалась планом НИР Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, и в соответствии с Постановлением Правительства Санкт-Петербурга № 37 от 11.07.2002 г. «О перебазировании промышленных предприятий и реабилитации территорий в Санкт-Петербурге».

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения, изложена на 134 страницах, содержит 36 рисунков, 23 таблицы, список используемых источников и литературы из 202 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** дан краткий обзор состояния проблемы, обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследований, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен анализ инженерно-геологических и инженерно-экологических условий территорий г. Санкт-Петербурга перспективных для освоения.

Длительный период развития и функционирования мегаполисов приводит к значительному преобразованию всех компонентов окружающей природной среды. Характер и интенсивность такого рода изменений определяется спецификой естественных природных условий территорий размещения мегаполиса (географического расположения, рельефа местности, климата, инженерно-геологических и гидрогеологических условий и др.), а также особенностями и длительностью техногенной нагрузки.

Инженерно-геологические условия значительной части территории Санкт-Петербурга являются сложными и неблагоприятными для строительства вследствие: затрудненных условий стока поверхностных вод; наличия неоднородной толщи слабых грунтов, распространенных практически повсеместно; высокого уровня подземных вод; искусственных изменений гидрографической сети; развития неблагоприятных техногенных процессов и явлений и др.

Наличие слабых грунтов различного литологического состава определяется присутствием в геологическом разрезе города природных последних отложений (морские, озерные, флювиогляциальные, болотные и аллювиальные) и техногенных отложений (насыпные, намывные, «культурный слой», отвалы промышленных и бытовых отходов). Для тех и других характерна высокая влажность и пористость, анизотропность свойств, высокая сжимаемость, лучинистость, тиксотропность.

Суммарная мощность техногенных отложений преимущественно составляет 3÷10 м, в островной части города она достигает 20 м. В общей сложности слабые техногенные отложения распространены повсеместно, они занимают площадь около 200 км<sup>2</sup> (~ 30% от общей площади Санкт-Петербурга).

Развитие во времени границ города повлекло за собой значительные преобразования гидрографической сети, в результате стихийной или планомерной отсыпки грунтов различного генезиса, в том числе с включениями строительных, бытовых и промышленных отходов. Ориентировочно было засыпано более 100 водных объектов общей площадью более 20 км<sup>2</sup>. Зачастую отсыпка грунтов сопровождалась только частичной выемкой болотных отложений, широко распространенных на территории города (~80 км<sup>2</sup> (13 %) от общей площади города) в виде поверхностных слоев и линз, мощность которых составляет 1÷3 м, реже достигает 5 м.

Развитие городской инфраструктуры Санкт-Петербурга определило высокую степень загрязнения подземных вод и грунтов на значительную глубину. Основными загрязняющими компонентами являются тяжелые металлы, перечень которых зависит от использования территории и близости ее к основным источникам загрязнения (промышленные объекты, свалки, автомагистрали и др.), также трудноокисляемые (нефтепродукты) вещества, соединения азота и другие биогенные элементы, а также сульфаты и хлориды. Кроме того, в результате утечек из канализационной сети, накопления хозяйственно-бытовых отходов, наличия погребенных болот, заторфованных грунтов, захороненных свалок, участков ликвидированных водотоков и водоемов для грунтов Санкт-Петербурга характерно большое содержание микроорганизмов (бактерий, грибов, микроводорослей и др.), что проявляется в негативном преобразовании органического вещества, физико-механических свойств грунтов и газовыделениях метана (CH<sub>4</sub>) и сероводорода (H<sub>2</sub>S).

Установлено, что наибольшую антропогенную нагрузку несут территории промышленных зон и зон специального назначения (свалки, полигоны) (рис. 1). Загрязнения приурочены к техногенным отложениям. По суммарному показателю загрязнений тяжелыми металлами  $Z_c$  грунты этих территорий характеризуются "опасным" ( $Z_c = 32 - 128$ ) и "чрезвычайно - опасным" ( $Z_c =$  более 128) уровнем загрязнения, приоритетными загрязняющими веществами являются элементы первого класса опасности (цинк, свинец, кадмий). Основными загрязняющими веществами по органическому составу являются бенз(а)пирен и нефтепродукты.

В связи с необходимостью повышения общей экологической культуры и ужесточением норм экологических стандартов все более нежелательным становится нахождение в границах города предприятий и производств,

технологические процессы которых не отвечают современным экологическим требованиям. Постепенно производится вывод промышленных объектов из состава действующих, консервация полигонов, исчерпавших свою мощность, и рекультивация бывших свалок, соответственно, происходит освобождение занимаемых территорий. Как правило, такие территории характеризуются отсутствием предварительной инженерно-экологической подготовки.

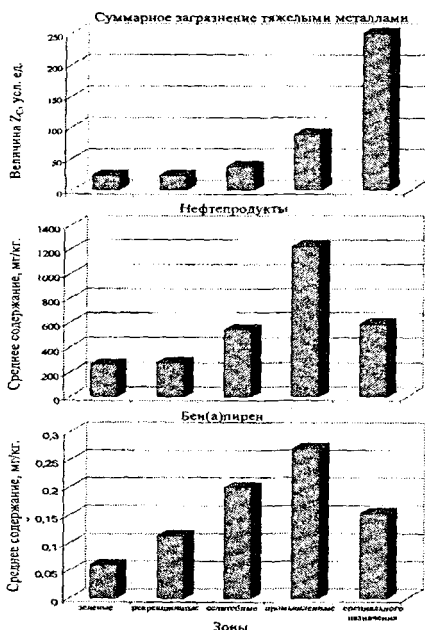


Рис. 1. Среднее содержание загрязняющих веществ в грунтах различных зон территории Санкт-Петербурга

Во второй главе рассматриваются современные методы и способы снижения техногенной нагрузки и упрочнения неустойчивых грунтов на осваиваемых территориях.

На основе анализа и систематизации имеющейся информации об основных методах и способах снижения техногенной нагрузки и упрочнения неустойчивых грунтов в диссертационной работе была произведена классификация методов обеспечения инженерно-экологической безопасности вторично осваиваемых территорий. Установлены основные способы подготовки загрязненных территорий к освоению, которые дают возможность проводить эффективную инженерно-экологическую подготовку участков вовлекаемых во вторичное освоение. В общем виде схема представлена на рис. 2.

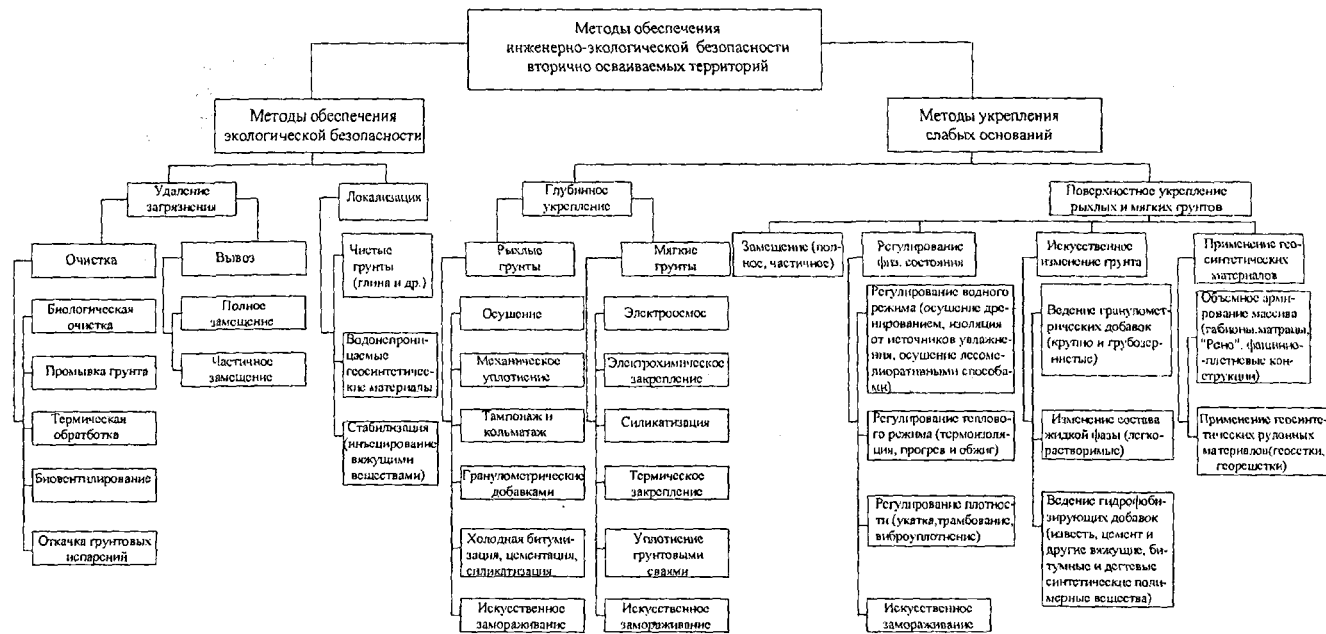


Рис. 2. Классификация методов обеспечения инженерно-экологической безопасности вторично осваиваемых территорий

Анализ существующих методов снижения техногенной нагрузки при подготовке загрязненных территорий и принципов их действия показывает, что применение физических, химических и биологических методов извлечения загрязняющих веществ, требует организации производства в промышленных масштабах специальных растворов для извлечения загрязнителей или эксплуатационных и капитальных затрат, сопровождающихся проблемами вывоза и размещения загрязненных грунтов. Целесообразность применения такой группы методов может быть обоснована однородным и выдержанным по площади и простираению характером загрязнения исходного массива, и их небольшими площадями.

Другой немаловажной проблемой загрязненных территорий является низкие физико-механические характеристики грунтов, слагающих разрез участков, переводящие их в разряд слабых оснований, с продолжающейся консолидацией и самоуплотнением. В случае необходимости подготовки таких территорий к выполнению ими функций оснований возникает проблема их укрепления путем использования различных специальных технологий. Различается глубинное и поверхностное укрепление грунтов с неблагоприятными физико-механическими характеристиками, с помощью которых могут быть приданы необходимые строительные свойства.

Применимость основных методов обеспечения несущей способности оснований при строительстве зависит от вида основания, в каждом конкретном случае эти методы подлежат расчетному обоснованию, а производство работ по их реализации — разработке специального проекта.

Учитывая, что площадь промышленных зон и размещения отходов производства и потребления г. Санкт-Петербурга составляют ориентировочно 10 км<sup>2</sup>, их полная санация и полная замена на более прочные грунты практически невыполнима. Но при использовании этих территорий выбор инженерных решений должен выполняться с максимальной экономической эффективностью, и с безусловным обеспечением экологической безопасности.

На основе классификации в процессе выполнения диссертационной работы были выделены наиболее рациональные и эффективные способы обеспечения инженерно-экологической подготовки вторично осваиваемых участков территории Санкт-Петербурга со сложившимися сложными инженерно-экологическими и инженерно-геологическими условиями с применением современных геосинтетических материалов (георешетки, геомембраны, геотекстиль), предназначенных для перераспределения нагрузок на основание, обеспечения его несущей способности и стабилизации осадок, снижения воздействия загрязненного основания на грунты, природные воды и атмосферный воздух.

Применение новых материалов прошло апробацию на ряде объектов размещения отходов г. Санкт-Петербурга и окрестностей: полигон промышленных токсичных отходов «СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор»

в Гостненском районе Ленинградской области, Приморская свалка ТБО в квартале 57 Ж г. в Приморском районе, бывший золоотвал ТЭЦ-2 в Невском районе и др.

В третьей главе представлена концепция обустройства инженерно-экологического защитного экрана (далее экран или ИЭЗЭ) с применением современных геосинтетических материалов. Разработаны и научно обоснованы системы и конструкции экранов на вторично осваиваемых участках территории Санкт-Петербурга в областях фильтрации сложной конфигурации с количественной оценкой эффективности предлагаемых инженерных решений.

Концепция обустройства ИЭЗЭ для различных типов рельефа, осваиваемой территории, заключается в: минимизации объема поверхностного стока, формирующегося на защищаемой территории; разделении различных по качеству поверхностных вод, формирующихся на различных участках загрязненной территории с учетом возможности по их сбросу в естественную русловую сеть, во внешние сети канализации, очистке, выпариванию и др.; разделении поверхностного и подземного (дренажного) стока с учетом их качества; предотвращения неорганизованного контакта атмосферных осадков с загрязненной территорией; стабилизация осадок слабого основания; организация газоотведения; организация комплексного мониторинга; создание комплексной инженерной инфраструктуры.

Предлагаемая концепция делает возможным отделение условно чистого поверхностного слоя грунтов и поверхностных стоков от загрязненных нижележащих (подмембранных) грунтов и грунтовых вод. Основным принципом реализации этой концепции является сохранение сплошности водонепроницаемого экрана на всей экранируемой поверхности и создание условий, способствующих минимизации выноса загрязняющих веществ фильтрационным потоком.

Для обеспечения предлагаемой концепции были разработаны системы и конструкции ИЭЗЭ, позволяющие снизить и ликвидировать воздействие на все компоненты окружающей среды, а также стабилизировать осадки:

- система разделения поверхностного стока, образующегося за пределами землеотвода;
- система организации поверхностного стока в пределах землеотвода;
- система организации подземного (дренажного) стока;
- система предотвращения неорганизованного контакта атмосферных осадков с загрязненной территорией;
- система стабилизации осадок основания;
- система искусственного увлажнения массивов свалочных масс загрязненным фильтратом;
- система газоотведения;

– система мониторинга.

Используя изложенную выше концепцию, был разработан алгоритм обоснования обустройства систем инженерно-экологической защиты на таких территориях (рис. 3), позволяющий подобрать наиболее рациональный комплекс мероприятий по нормализации экологической обстановки для любого уровня защиты.

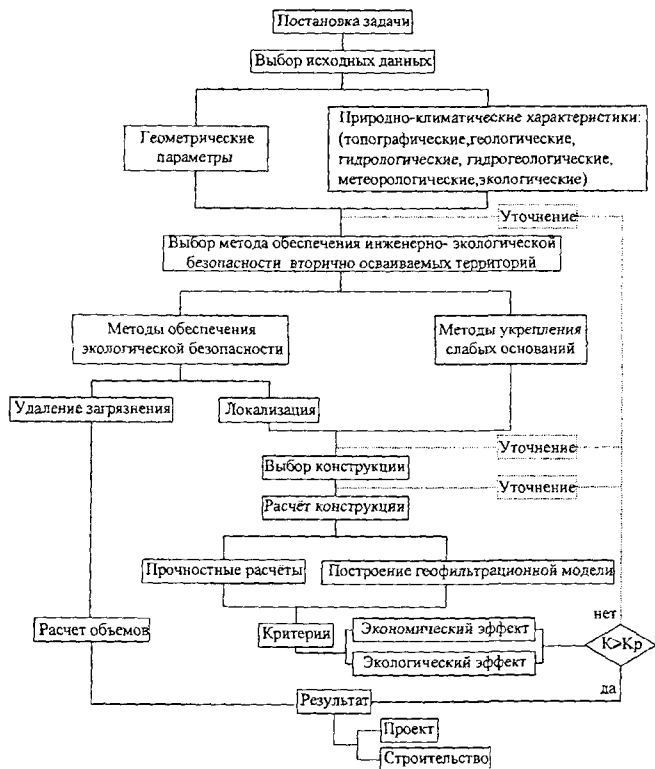


Рис. 3. Алгоритм обоснования обустройства ИЭЗЭ

Алгоритм обоснования обустройства систем инженерно-экологической защиты, разработанный в данной работе, включает в себя этапы выбора оптимальной конструкции ИЭЗЭ с учетом естественных природных условий, а также особенностями и длительностью техногенной нагрузки в границах вторично осваиваемых территорий. Путем обобщения и схематизации исходных данных для выбранной конструкции выполняются прочностные расчеты, способ расчета зависит от выбора метода укрепления исследуемой территории (рис. 2). Разрабатывается геофильтрационная модель основания, содержащая качественную информацию об основных элементах гидрогеологической обстановки в районе исследуемой

территории, по результатам которой формулируются варианты численного моделирования фильтрации, заключающиеся в нахождении напорной функции  $H(x, y, z, t)$ , которая удовлетворяет граничным условиям и является на расчетной области решением уравнения фильтрации:

$$\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial H}{\partial z} = \eta \frac{\partial H}{\partial t} - \varepsilon$$

где:  $\varepsilon$  – плотность внешних источников,  $\eta$  – упругоємкость,  $H$  – гидродинамический напор,  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  – коэффициенты фильтрации в направлении соответствующих координатных осей.

Основными результатами численного моделирования фильтрационного режима на исследуемой территории являются прогнозные положения трехмерной депрессионной поверхности, визуализируемые в виде пространственных изображений, разрезов и карт гидроизогипс, а также оценки величин фильтрационных расходов ( $Q$ ) для всех рассмотренных вариантов.

По изменению величины фильтрационных расходов и концентрации загрязняющих веществ ( $C$ ) при фактических условиях (без инженерной подготовки) и предложенной оптимальной конструкции ИЭЗЭ оценивается экологическая эффективность предлагаемой системы ИЭЗЭ обустройства территории:

$$P_{\text{ЭЭФ}} = \frac{W_H}{W_K}$$

где  $W_H = C_{\text{н}} Q_{\text{н}}$  – вынос загрязняющих веществ в начальный момент сработки купола грунтовых вод;  $W_K = C_{\text{к}} Q_{\text{к}}$  – вынос загрязняющих веществ в конечный момент процесса сработки купола грунтовых вод.

В табл. 1 представлен пример применения алгоритма при выборе оптимальной конструкции ИЭЗЭ при обустройстве системы предотвращения неорганизованного контакта атмосферных осадков с загрязненным грунтовым массивом с элементом «стены в грунте» на территории бывшего золоотвала ТЭЦ-2 в Невском районе. В конкретном случае считается, что концентрации загрязняющих веществ в момент начала сработки купола грунтовых вод и в конце этого процесса равны:  $C_{\text{н}} = C_{\text{к}} = C$ , т.е. не учитывается уменьшение концентраций загрязняющих веществ за счет снижения их вымыва, в результате уменьшения действующих напоров при сработке купола грунтовых вод и разбавления атмосферными осадками по периферии рассматриваемой области.

С учетом указанных процессов расчетный показатель экологической эффективности увеличен на 25-30 % и принят равным  $P_{\text{ЭЭФ}} = 40$ . Полученные показатели  $P_{\text{ЭЭФ}}$  могут рассматриваться как верхняя и нижняя границы расчетной оценки экологической эффективности инженерной подготовки территории, т.е.  $30 \leq P_{\text{ЭЭФ}} \leq 40$ .

## Пример применения алгоритма

Вариант	Описание варианта	Q, л/с	$P_{эф}$
«Fоп»	Существующие условия	1,221	–
«Eкран»	Обустройство ИЭЗЭ	0,661	$1,221 \cdot C / 0,661 \cdot C = 1,85$
«Stenka-3»	ИЭЗЭ + «стена в грунте» глубиной 3 м	0,269	$1,221 \cdot C / 0,269 \cdot C = 4,54$
«Stenka-6»	ИЭЗЭ + «стена в грунте» глубиной 6 м	0,041	$1,221 \cdot C / 0,041 \cdot C = 30,00$
«Stenka-8»	ИЭЗЭ + «стена в грунте» глубиной 8 м	0,037	$1,221 \cdot C / 0,037 \cdot C = 33,00$

При комбинации различных систем и конструкций (элементов) ИЭЗЭ расчетный показатель экологической эффективности увеличивается  $70 \leq P_{эф} \leq 150$ .

Результаты приведенной оценки свидетельствуют о возможности существенного повышения экологической безопасности застраиваемой территории путем обустройства ИЭЗЭ на вторично осваиваемых территориях.

**Четвертая глава** посвящена оценке изменений деформативных характеристик слабых оснований, их несущей способности при использовании в конструкции сооружений элементов (систем) ИЭЗЭ, позволяющая ввести в расчетах прочности инженерно-экологического защитного экрана поправочный коэффициент.

В конкретном случае рассматривается изменение деформативных показателей ИЭЗЭ в конструкции несущего покрытия, обустроенного на слабом основании. Обязательным элементом для обеспечения увеличения срока службы, несущей способности и во избежание преждевременного выхода из строя сооружения в состав несущего покрытия включаются георешетки (система стабилизации осадок основания), которые выполняют функции армирования конструкции (рис. 4).

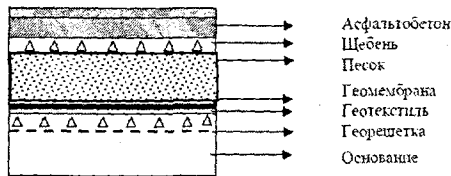


Рис. 4. Конструкция несущего покрытия с применением систем ИЭЗЭ

С целью определения изменений деформативных характеристик в традиционных конструкциях (неармированных) и в конструкции при использовании системы стабилизации осадок основания (армированных) были выполнены штамповые испытания в соответствии с ГОСТ 20276-96. На основе полученных данных определяется модуль деформации на каждой ступени нагружения по формуле:

$$E = \frac{\Delta P \times D}{\Delta S} \times (1 - \nu^2)$$

где  $\Delta P$  – давление под подошвой штампа, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);  $D$  – диаметр штампа, см;  $\Delta S$  – осадка штампа, см;  $\nu$  – статический коэффициент Пуассона.

Анализ полученных данных позволяет судить о том, что у армированной по сравнению с неармированной конструкцией величина необратимых деформаций снижается 1,5÷2 раза, а несущая способность слабого основания с включением системы стабилизации осадок основания (георешеток) увеличивается в 2÷3 раза.

Установлено, что на слабом основании при использовании системы стабилизации осадок (георешеток) фактические параметры модуля упругости конструкции превышают расчетные значения в среднем на 14÷36 % (табл. 2).

Таблица 2

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных  
на опытных участках

№ п/п	Экспериментальный модуль упругости $E_{экс}$ , МПа					Расчетный модуль упругости $E_{расч}$ , МПа	$K_{син} = E_{экс}/E_{рас}$				
	Номер испытания						Номер испытания				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	Площадка развлекательного комплекса. г. Санкт-Петербург										
	223,77	252,78	487,50	341,25	379,17	158,70	1,41	1,59	3,07	2,15	2,39
2	Промышленная площадка. Республика Татарстан										
	113,66	106,22	111,43	18,39	145,72	152,00	1,13	1,06	1,11	1,18	1,48

Анализ полученных данных и представлений о синергетическом эффекте позволяет ввести повышающий коэффициент, который равен отношению  $K_{син} = E_{экс}/E_{расч}$ . Повышающий коэффициент  $K_{син}$  учитывает увеличение модуля упругости за счет возникновения синергетического эффекта, проявляющийся во взаимодействии всех слоев системы друг с другом и обменом энергии, освободившейся в результате уменьшения нормальных и касательных напряжений в толще основания, и сконцентрированной в слое «щебень - георешетка», что способствует сопротивлению сдвигу.  $K_{син}$  вводится при расчете модуля упругости конструкции для учета ожидаемого увеличения прочности и долговечности:

$$E_{син} = K_{син} \cdot E_{расч}$$

где  $E_{син}$  – модуль упругости ИЭЗЭ с учетом синергетического эффекта, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);  $E_{экс}$  – расчетный модуль упругости ИЭЗЭ, МПа (кгс/см<sup>2</sup>).

Величина  $K_{сн}$  зависит от инженерно-геологических условий объекта обустройства, состава слоев основания, типа георешетки, свойств используемых материалов заполнения, качества уплотнения и находится в диапазонах 1,0÷3,0.

В пятой главе приводится разработанная автором методика по оценке эффективности систем инженерно-экологической защиты, позволяющая выявить отклонения конструкции на стадии проектирования, строительства и эксплуатации от требований действующих норм и принятых проектных решений, а также обеспечивающая высокий уровень экологической безопасности территорий.

Конструкция инженерно-экологического защитного экрана должна обеспечивать экологическую безопасность не только локализованного участка, а также и прилегающей территории. Как и любое сооружение, в ИЭЗЭ возможны нарушения, неисправности, повреждения и отказы отдельных элементов экрана. На сегодняшний день нормативно-правовые акты и методические документы в области эксплуатации ИЭЗЭ отсутствует, не смотря на то, что конструкции с применением геосинтетических материалов в России используются с 1996 г. В этой связи безопасная эксплуатация и достоверная оценка состояния ИЭЗЭ является одной из актуальнейших задач. Такая оценка должна основываться на точном учете состояния ИЭЗЭ с целью предупреждения на начальных стадиях процессов разрушения и быстрого реагирования по устранению аварии и ее локализации.

В методике установлен порядок, сформулирована терминология и основные методические положения по определению уровня безопасности ИЭЗЭ. Схема оценки состояния ИЭЗЭ по предлагаемой методике показана на рис.5.

Методика оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты основывается на рассмотрении двух групп факторов: соответствия проектных решений нормативным документам и соответствие конструкции ИЭЗЭ проекту (показатель *A*); контроль за ИЭЗЭ (показатель *B*), с учетом экологической значимости исследуемой территории.

За основу оценки значения показателя состояния сооружения (*A*), принято соответствие и обоснованность проектных решений современным нормативным требованиям и соответствие проекту конструкции ИЭЗЭ, условий его эксплуатации, а также свойств материалов сооружения и основания. По результатам оценки состояния сооружения по показателю *A* устанавливается степень опасности, выявленных отклонений и устанавливаются баллы.

Известно, что при отсутствии контроля за любым сооружением возрастает уровень риска аварий. Наиболее высок он для сооружений, не имеющих собственников. Снижение уровня эксплуатации и надзора за безопасностью ИЭЗЭ из-за отсутствия квалифицированного персонала,

отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры и необходимых средств ремонта и реконструкции также приводит к росту уровня риска аварий. По результатам оценки состояния сооружения по показателю *B* устанавливается степень опасности, выявленных отклонений.

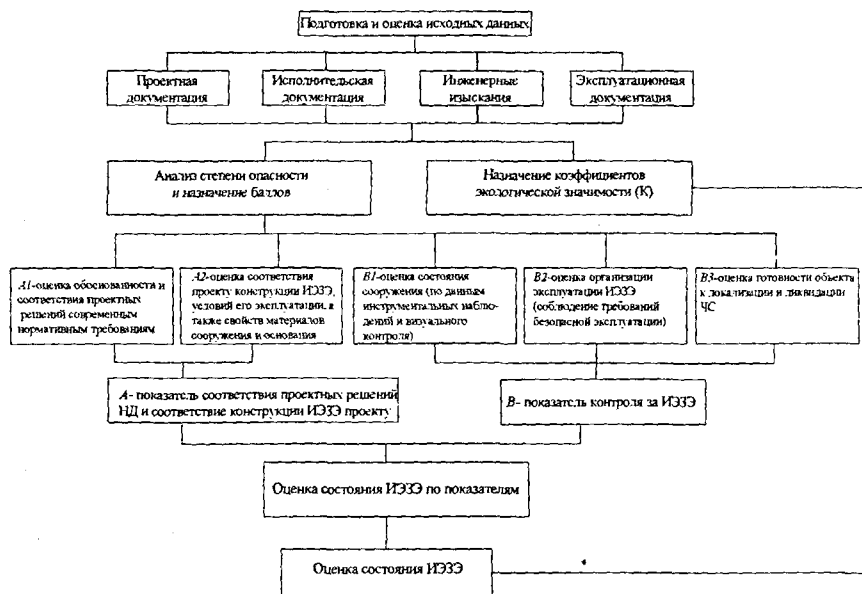


Рис. 5. Блок-схема оценки состояния ИЭЗЭ

В общем случае, оценка состояния ИЭЗЭ определяется путем умножения суммы показателей состояния на коэффициенты экологической значимости:

$$S = (A+B) \cdot k_{ns} \cdot k_c \cdot k_n \cdot k_{pn} \cdot k_v \cdot k_{kg} \cdot k_s \cdot k_p, \quad A = \sum_{i=1}^2 (A_i); \quad B = \sum_{i=1}^3 (B_i)$$

где  $S$  — оценка состояния ИЭЗЭ;  $A$  и  $B$  — основные показатели состояния ИЭЗЭ;  $k_i$  — коэффициенты экологической значимости.

Коэффициенты экологической значимости оцениваются по следующим критериям: расстояние от водного объекта ( $k_v$ ); социальная значимость территории, обустроенной ИЭЗЭ ( $k_n$ ); предыдущее назначение и использование территории ( $k_{pn}$ ); нагрузка на ИЭЗЭ ( $k_p$ ); осадка конструкции ИЭЗЭ ( $k_{ns}$ ); сплошность ИЭЗЭ ( $k_c$ ); площадь, занимаемая ИЭЗЭ ( $k_s$ ); качество грунтовых вод ( $k_{kg}$ ).

Численные значения баллов и коэффициентов в данной методике были разработаны автором на основе экспертных оценок. В диссертации с использованием методики автором произведены расчеты оценки состояния

ИЭЗЭ, которые эксплуатируются на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Предлагаемая методика позволяет в достаточно простой и ясной форме дать сопоставительную оценку возможности повреждения ИЭЗЭ на основе экспертного анализа всей совокупности факторов с учетом социально-экологических условий, влияющих на надежность и безопасность их работы, выделить элементы сооружения, нуждающиеся в ремонте.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе диссертационных исследований по решению вопросов инженерно-экологического обоснования локализации загрязнений вторично осваиваемых участков территории Санкт-Петербурга автором были поставлен и решен комплекс задач, имеющих как научно-методическое, так и практическое значение.

2. Выполнен анализ инженерно-экологических и инженерно-геологических условий территорий перспективных для освоения, который показал, что для территорий Санкт-Петербурга характерны высокое содержание загрязняющих веществ и активно протекающие современные геологические процессы, переводящие такие территории в новые массивы со сложными условиями.

3. Выполнена классификация методов обеспечения экологической безопасности и укрепления слабых оснований, в которой на основе анализа инженерно-экологических и инженерно-геологических условий территорий мегаполисов, оценки эффективности существующих методов обеспечения экологической безопасности и укрепления слабых оснований, выделены основные группы методов обеспечения инженерно-экологической безопасности вторично осваиваемых территорий.

4. Впервые, экспериментальными методами получен поправочный коэффициент, вводимый в расчетные зависимости прочности инженерно-экологического защитного экрана, повышающий общий модуль упругости конструкции на 14-36 %, снижающий величины необратимых его деформаций в 1,5÷2 раза и увеличивающий несущую способность в 2÷3 раза, что обеспечивается за счет возникновения синергетического эффекта от комплексного использования геосинтетических и минеральных материалов при его обустройстве.

5. Дано научное обоснование рациональных систем и конструкций инженерно-экологического защитного экрана на осваиваемых территориях на основе численного моделирования пространственных фильтрационных потоков в областях фильтрации сложной конфигурации с количественной оценкой эффективности предлагаемых инженерных решений.

6. Разработан и реализован ряд конструкций инженерно-экологического защитного экрана на осваиваемых территориях со сложными инженерно-

экологическими и инженерно-геологическими условиями, обладающих высокой технической надежностью и экологической безопасностью.

7. Разработана методика оценки эффективности систем инженерно-экологической защиты, основанная на использовании полученных экспертным путем показателей состояния сооружения и коэффициентов экологической значимости, и позволяющая выявить отклонения конструкции на стадии проектирования, строительства и эксплуатации от требований действующих норм и принятых проектных решений, позволяющие контролировать уровень экологической безопасности территорий.

9. По результатам разработок автора предложен ряд оригинальных проектных решений реализованных в проектной практике ООО «НПК Проектводстрой» и строительством на территории г. Санкт-Петербурга, в частности на:

– действующих наливных сооружениях (проект дамб обвалования действующих наливных емкостных сооружений на территории СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» в Тосненском районе Ленинградской обл.);

– закрытых накопителей жидких и пастообразных отходов (проект рекультивации закрытой карты №70 на территории СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» в Тосненском районе Ленинградской обл.);

– закрытом золошлакоотвале ТЭЦ-2 в Невском районе Санкт-Петербурга (квартал 9 СУН);

– ликвидируемых водных объектах (проект засыпки второго русла Матисового канала на территории многофункционального комплекса «Балтийская жемчужина» в Красносельском районе Санкт-Петербурга).

10. Направлением дальнейшего развития рассмотренной темы, считаю совершенствование, разработку и обоснование узлов элементов инженерно-экологического защитного экрана и методики оценки состояния конструкции с учетом экологической и экономической эффективности.

### **Основные положения и научные результаты опубликованы в следующих работах**

*Научные статьи, опубликованные в периодических изданиях,  
рекомендованных ВАК РФ*

1. Дубровская Н.В. Синергетический эффект в системе “дорожная одежда – основание”/ Н.В. Дубровская, Ю.А. Нифонтов, С.О. Гунин, Г.В. Киселев //Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. «Оценка состояния гидротехнических сооружений (методы, способы, исследования)». – СПб: Издательство ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2007 Т. 247 – с. 110-119.

2. Сольский С.В. Практика рекультивации полигона промышленных токсичных отходов СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» / С.В. Сольский, Е.В. Герасимова, Н.В. Дубровская, А.В. Козлова, С.Г. Климовский //

Известия ВНИИГ Б.Е. Веденеева. «Оценка состояния гидротехнических сооружений (методы, способы, исследования)». – СПб: Издательство ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2008 Т. 253 – с. 62-72.

3. Дубровская Н.В. Влияние акватории Финского залива на формирование состава грунтовых вод прилегающих площадок судостроительных предприятий. / Н.В. Дубровская, Н.А. Бродская, Г.И. Леонова // Морской вестник. – СПб: Издательство Мор Вест, 2009. №3. С. 67-68.

*Научные статьи, опубликованные в материалах конференций,*

*межвузовских сборниках и других научных периодических изданиях*

4. Максимова Т.В. Некоторые аспекты анализа техногенного экологического риска / Т.В. Максимова, Д.С. Петров, В.Ф. Шуйский, В.Б. Добрецов, Н.В. Львутина, Е.Г. Нестеренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 12. С. 128 – 134.

5. Львутина Н.В. Использование геосинтетических материалов в промышленном строительстве (полигонов ТБО) / Н.В. Львутина // Материалы региональной научно-технической конференции с международным участием «Кораблестроительное образование и наука – 2005». – СПб: СПбГМТУ, 2005 Т. 4 – с. 36-40.

6. Львутина Н.В. Повышение прочностных характеристик дорожной одежды геосинтетическими материалами при обустройстве инженерно-экологического защитного экрана / Н.В. Львутина // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 4-ой Межрегиональной научно-практической конференции. – Воркута: Филиал СПГГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт», 2006 Т. 2 – с. 544-548.

7. Львутина Н.В. Синергетическое представление неустойчивости и устойчивости системы “дорожная одежда – горная порода” при обустройстве инженерно-экологического защитного слоя / Н.В. Львутина, Ю. А. Нифонтов // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 4-ой Межрегиональной научно-практической конференции. – Воркута: Филиал СПГГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт», 2006 Т. 2 – с. 548-553.

8. Дубровская Н.В. Увеличение прочностных характеристик системы «дорожная одежда-основание» за счет возникновения синергетического эффекта / Н.В. Дубровская // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 5-ой Межрегиональной научно-практической конференции: – Воркута: Филиал СПГГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт», 2007 Т. 2 – с. 319-322.

9. Дубровская Н.В. Инженерно-экологическая подготовка защитного экрана на участке ФГУП «Адмиралтейские верфи» / Н.В. Дубровская, Ю.А. Нифонтов, Н.А. Бродская, О.В. Куприенко // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 5-ой Межрегиональной

научно-практической конференции. – Воркута: Филиал СПГИ (ТУ) «Воркутинский горный институт», 2007 Т. 2 – с. 323-325.

10. Дубровская Н.В. Состояние урбанизированных территорий и их подготовка к безопасному освоению (на примере г. Санкт-Петербурга) / Н.В. Дубровская // Народное хозяйство Республики Коми — научно-тематический журнал. – Воркута - Сыктывкар – Ухта, 2008 Т. 17. № 2. С. 145-149.

11. Дубровская Н.В. Концептуальный подход к разделению стоков, образующихся на территории СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» / Н.В. Дубровская, Ю.А. Нифонтов, С.В. Сольский, Т.И. Нифонтова, А.В. Козлова // Производственно-технический журнал «Экология и охрана труда». – М, 2008. № 6. С. 10-13.

12. Дубровская Н.В. Предложение комплекса инженерно-экологических решений по нормализации экологической обстановки в районе полигона ПТО-3 города Санкт-Петербурга/ Н.В. Дубровская // Производственно-технический журнал «Экология и Охрана труда». – М, 2008. № 10. С 24-29.

13. Дубровская Н.В. Концептуальный подход к разработке методики управления безопасностью конструкций инженерно-экологического защитного экрана / Н.В. Дубровская, Ю.А. Нифонтов // Народное хозяйство Республики Коми. – Воркута - Сыктывкар - Ухта, 2009 Т.18. № 2. С. 184-187.

*Тезисы и доклады по материалам конференций*

14. Бродская Н.А. Взаимодействие морских и грунтовых вод в акватории Невской губы. / Н.А. Бродская, Ю.А. Нифонтов, Г.И. Леонова, Н.В. Дубровская / Сборник тезисов VIII международного экологического форума «День Балтийского моря». – СПб: Издательство «Диалог», 2007. – с. 351-353.

15. Бродская Н.А. Идентификация источников загрязнения акватории Финского залива с помощью модели рассеивания загрязняющих веществ. / Н.А. Бродская, Ю.А. Нифонтов, Н.В. Дубровская, Г.И. Леонова, Д.И. Зыков, М.В. Павлюченко / Сборник тезисов IX международного экологического форума «День Балтийского моря». – СПб: Издательство «Диалог», 2008. – с. 222-223.

---

ИЦ СПбГМТУ, Лоцманская, 10

Подписано в печать 01.09.2009. Зак. 3831. Тир.100. 1,1 печ. л.