БУДАНОВ Леонид Михайлович

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ ДНА И БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Специальность 25.00.36. – Геоэкология (науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук

Калининград 2019 Работа выполнена в отделе Региональной геоэкологии и морской геологии Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

Научный **руководитель:**

Сивков Вадим Валерьевич, кандидат геологоминералогических наук, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, кафедра географии океана, доцент; Атлантическое отделение Института океанологии РАН, директор

Официальные оппоненты: **Шилин Михаил Борисович**, доктор географических наук, профессор, Российский государственный гидрометеорологический университет, кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности, профессор

Подлипский Иван Иванович, кандидат геологоминералогических наук, Научно-производственное объединение «ГидроТехПроект», главный научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук (НИЦЭБ РАН)

Защита диссертации состоится 20 марта 2020 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 212.084.09 при ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236022, г. Калининград, ул. Зоологическая, 2, ауд. 304, e-mail: TIKuznetsova@kantiana.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (г. Калининград, ул. Университетская, д. 2). Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Автореферат разослан «____» декабря 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета кандидат географических наук

Т.Ю. Кузнецова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

исследования. В последние десятилетия Актуальность происходит активное хозяйственное освоение Финского залива: формируются насыпные территории, прокладываются подводные коммуникации, ведется гидротехническое строительство, включая берегозащитые сооружения, обустраиваются рекреационные зоны [Буданов и др., 2017]. В западной части российского сектора залива в 2010–2011 гг. был проложен участок газопровода «Северный поток», а в настоящее время выполнены изыскания и начинается строительство южной его ветки из Нарвского залива. Реализован проект строительства крупнейшего портового терминала «Усть-Луга». Особенно заметно усиление техногенного воздействия в восточной части залива. В Невской губе в постоянном режиме проводится дноуглубление, перемещение грунтов и создание их подводных отвалов. В 2006–2008 гг. здесь был реализован крупнейший инфраструктурный проект «Морской фасад», предусматривавший создание новых территорий и строительство пассажирского порта. Обсуждаются проекты по строительству в акватории залива искусственных островов (новых территорий), а на побережье ведется высотное строительство «Лахта-Центра». Все это приводит к заметному изменению донных ландшафтов и антропогенному загрязнению морской среды.

Вместе с тем, с точки зрения геоэкологической оценки и устойчивого развития геологической среды, активное хозяйственное освоение региона имеет ряд нерешенных вопросов. Так, инженерно-экологические изыскания и оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), которые выполняются в составе всех проектов, связанных с техногенным изменением природных условий, сталкиваются с серьезными трудностями при получении и интерпретации геологических данных, особенно на прибрежном мелководье. Повышенного внимания при этом требует погребенных долин (врезов), выполненная четвертичными отложениями – наиболее слабыми в инженерно-геологическом отношении. Погребенные долины, как известно, способствуют инфильтрации подземных вод и нарушению целостности водоносных горизонтов, что в конечном счете сказывается на условиях водоснабжения населения. При этом в восточной части Финского залива (в том числе Невской губе) и обширных мелководных акваториях Санкт-Петербурга (таких как Сестрорецкий Разлив) данные о погребенной дочетвертичной поверхности до настоящего времени носят преимущественно **Г**Буданов 2017]. Проблемой гипотетический характер И др., является недостаточный объем бурения, что обусловлено его высокой стоимостью. В этих альтернативой геофизические условиях единственной являются методы исследования, a именно методы инженерно-геологической интерпретации выделенных сейсмоакустических комплексов.

Еще проблемой одной геоэкологической хозяйственного освоения российского сектора Финского залива является разрозненность данных о состоянии окружающей среды. В ходе экологического мониторинга, проводимого различными организациями, оценивается уровень загрязненности воды и донных отложений российской части Финского залива (Гидрометслужба, «Севморгео», ВСЕГЕИ), а также – состояние биоты (Зоологический институт РАН). В результате сформировались значительные по объему массивы данных. Вместе с тем они разнородны и разобщены. Поэтому высокую степень актуальности приобрели работы по геоэкологическому районированию, которое должно стать первым шагом к интегрированию данных о состоянии окружающей среды. Проведение районирования такого неотъемлемой частью современного является территориального и морского пространственного планирования, прогнозирования и комплексного управления хозяйственной деятельностью.

Объект исследования. Объектом диссертационного исследования является геологическая среда восточной части Финского залива и его прибрежной территории. Под геологической средой понимаются верхние горизонты литосферы, взаимодействующие (актуально или потенциально) с техносферой.

Предмет исследования. *Предметом* исследования являются геоэкологические аспекты устойчивого развития геологической среды восточной части Финского залива и прилегающей территории.

Цель и задачи исследования. *Целью* диссертационной работы является выявление пространственной дифференциации геологической среды восточной части Финского залива и прилегающих территорий на основе геоэкологического районирования с учетом роли погребенных палеодолин.

В ходе выполнения работы автором решались следующие задачи:

- 1. Разработка критериев геоэкологического районирования на основе анализа дочетвертичного палеорельефа и ключевых абиогенных элементов донных ландшафтов.
- 2. Выделение сейсмоакустических комплексов отложений по геотехническим свойствам, отражающих различные условия формирования геологической среды в неоплейстоцен-голоценовый этап развития восточной части Финского залива.
- 3. Составление картосхем рельефа поверхности дочетвертичных образований, ледниковых отложений, неоплейстоценовых отложений, современного рельефа дна, мощности голоценовых илов с применением геоинформационных систем (ГИС).
- 4. Обоснование оптимальных комплексов геофизических методов исследований, направленных на обнаружение, уточнение расположения и внутреннего строения палеодолин в пределах прибрежного мелководья и приморских территорий.
- 5. Анализ результатов геологических и геофизических исследований, палеорельефа, разработка региональных физико-геологических моделей погребенных долин.
- 6. Составление картосхемы геоэкологического районирования восточной части Финского залива.

Научная новизна. Впервые построены модели погребенного рельефа дочетвертичных образований, верхненеоплейстоценовых отложений и мощности голоценовых илов, что позволило пространственно локализовать зоны развития отложений с различными инженерно-геологическими свойствами, области различной направленности и интенсивности экзогенных геологических процессов, в том числе и обусловливающих геоэкологические условия. По результатам анализа модельных поверхностей выделены участки дна, перспективные с точки обнаружения ландшафтов, связанных cкраевыми зрения ледниковыми комплексами. На основе анализа современного и погребенного рельефа дна восточной части Финского залива выявлены зоны наибольших уклонов, связанные с различными по возрасту и генезису реликтовыми формами рельефа (краевые морены, друмлины, подводные террасы и др.). Здесь наиболее вероятны проявления подводных гравитационных процессов, а также возможные зоны инфильтрации подземных и поверхностных вод, приводящих к ухудшению геоэкологического состояния района исследования.

Впервые получены фактические материалы о геологическом строении верхней части геологического разреза и абиогенных элементах современных субаквальных ландшафтов Невской губы и Сестрорецкого Разлива, отражающие положение древних погребенных врезов и особенности их заполнения. Определены компоненты морфологии, отдельные элементы структуры и характер их проявления в физических полях в условиях мелководной акватории залива и его прибрежных территорий, разработаны физико-геологические модели погребенных долин региона.

Впервые для региона исследований разработаны критерии оценки геоэкологического состояния (степени опасности) геологической среды и на их основе выполнено районирование восточной части Финского залива и прилегающей территории.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1. Ключевыми параметрами геоэкологической оценки и районирования геологической среды в восточной части Финского залива и прилегающей территории являются рельеф (палеорельеф) и геотехнические свойства отложений, определяемые в результате комплексных геолого-геофизических исследований.
- 2. На основе оригинальной (авторской) методики геоэкологического районирования в восточной части Финского залива выявлены участки с «напряженным» (32 % площади дна) и «критическим» (11 % площади дна) геоэкологическим состоянием, хозяйственное освоение которых может негативно сказаться на геоэкологической обстановке акватории.
- 3. Скопления тонкодисперсных осадков (алевропелитовых илов) в седиментационных бассейнах района исследований представляют собой депоцентры поллютантов и вследствие своей высокой адсорбционной емкости являются потенциальными источниками вторичного загрязнения акватории;

площадь их распространения на поверхности дна составляет 4.3 тыс. κm^2 (37 % площади исследований), их объемы оцениваются в 62 κm^3 .

4. На мелководных акваториях Санкт-Петербурга в дочетвертичных отложениях существуют погребенные врезы (шириной 0.5–3.2 км) двух физико-геологических типов, закономерно проявляющиеся в геофизических полях и различающиеся по уровню геоэкологической опасности: менее опасные – имеющие преимущественно глинистый состав заполняющих их четвертичных отложений и более опасные – заполненные преимущественно песчаным материалом.

Практическая значимость. Предложенные методы и подходы, а также результаты использованы полученные конкретные отделом региональной геоэкологии и морской геологии ФГБУ «ВСЕГЕИ» в отчетах по проектам Государственного мониторинга состояния геологической среды прибрежношельфовых зон Балтийского, Баренцева и Белого морей (2011–2019 гг.), разработке Генеральной схемы берегозащиты (2015–2016 гг.). Предложенные схемы геоэкологического районирования могут быть использованы при разработке планов Морского пространственного планирования для акватории Финского залива Санкт-Петербурга, Генерального плана a также при экологических исследованиях, инженерно-экологических изысканиях и разработках ОВОС, проектов, планирующихся к реализации в восточной части Финского залива, Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

Материалы и методы. В основу диссертации положены как комплексные геолого-геофизические фактические данные, полученные специалистами отдела Региональной геоэкологии и морской геологии ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 1980–2018 гг., в том числе при непосредственном участии автора во время работы в полевые сезоны с 2012 по 2018 гг., геофизические материалы, собранные в ходе факультативных полевых практических занятий кафедры геофизических и геохимических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского Горного университета, также материалы производственных отчетов и сведения, опубликованные в научных изданиях. Полевые исследования включали непрерывное акваторное зондирование (НАЗ), $(HC\Pi)$, непрерывное сейсмоакустическое профилирование однолучевое эхолотирование, георадиолокацию, электротомографию, гравиразведочную съемку и сейсморазведку методом отраженных волн (МОВ). Анализ и обобщение геофизической информации о геологической и строении верхней геологического разреза региона, распространении и особенностях как древних, так современных ландшафтов. Проведение опытно-методических работ традиционными для береговой зоны и мелководий геофизическими методами, так и методами гравиметрии и сейсморазведки MOB общей средней точки (ОСТ). Комплексный анализ этой современной геофизической информации применением новых методов обработки значительных массивов цифровых данных обеспечил построение модели верхней части геологического разреза дна и береговой восточной части Финского Геоэкологическое зоны залива. картографирование было выполнено с применением ГИС-технологий.

Достоверность выводов обеспечена комплексным использованием стандартных методов геолого-геофизических исследований, анализом большого объема данных, полученных за значительный промежуток времени с применением геолого-геофизических различных методов, согласованностью полученных результатов c результатами компьютерного моделирования ранее И опубликованными работами других авторов.

Личный вклад. Основной объем полевых геофизических исследований, выполненных коллективом специалистов отдела региональной геоэкологии и морской геологии (ФГБУ «ВСЕГЕИ») на ключевых участках в восточной части Финского залива в рамках реализации проекта «Государственный мониторинг состояния геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Балтийского, Белого и Баренцева морей» в 2012—2018 гг. и студентами и специалистами кафедры ГФХМР Горного университета в рамках факультативных практических занятий, был осуществлен под руководством и при непосредственном участии автора диссертации. Обработка и интерпретация результатов геофизических работ, а также оцифровка и переинтерпретация архивных материалов, их ГИС-анализ и построение карт и схем осуществлена автором диссертации. Автор участвовал в качестве исполнителя в международных научных проектах, смежных с тематикой диссертационной работы, в рамках которых также выполнялся сбор фактического

материала: «Трансграничные инструменты морского пространственного планирования и сохранения Финского залива (ТОПКОНС)» («Transboundary tools for spatial planning and conservation of the Gulf of Finland (TOPCONS)». Finnish-Russian ENPI program) 2012–2014; Европейская сеть морских наблюдений и данных (The European Marine Observation and Data Network (EMODNET-geology)) 2014– 2016; а также в грантах Российского фонда фундаментальных исследований: «Изменения бассейна Балтийского моря за последние 60000 лет как результат взаимодействия климата, развития ледниковых щитов и океана» 14-05-91763, «Развитие береговых морфосистем юго-восточной части Финского залива в ходе дегляциации и трансгрессивно-регрессивных колебаний уровня послеледниковых водоемов» 15-05-08169, «Генезис и типизация подводных уступов западной береговой зоны Самбийского полуострова на основе сейсмоакустических 15-35-50618; и Российского научного фонда «Воздействие исследований» глобальных, региональных и субрегиональных природных факторов на развитие береговых морфосистем восточной части Финского залива, как среды обитания человека» 17-77-20041.

Апробация. Результаты работы были представлены на международных конференциях: «ХХІ Международная Научная конференция (Школа) по морской геологии» (получен диплом), «Балтика 2016 – 13-й Коллоквиум геологии Балтийского моря» («Baltic 2016 – The 13th Colloquium on Baltic Sea Marine Geology»), «V Международная конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского», «13-я конференция и выставка Европейская ассоциация геоучёных и инженеров (ЕАGE) «Инженерная геофизика 2017»», «ХХІІ Международная Научная конференция (Школа) по морской геологии», «14-я конференция и выставка ЕАGE «Инженерная и рудная геофизика 2018», международной конференции «Генеральная ассамблея Европейского союза наук о Земле» («ЕGUGeneralAssembly 2019») и «1-й научно-практической конференции и выставке ЕАGE «Морские технологии 2019»».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе две в изданиях, входящих в перечень ВАК, шесть в изданиях, индексируемых базой Scopus, и две в разделах коллективных монографий.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю к.г.-м.н. В.В. Сивкову за поддержку и помощь в выполнении исследования, а также коллегам и соавторам публикаций из ФГБУ «ВСЕГЕИ»: к.г.-м.н. Д.В. Рябчук, к.г.-А.Ю. Сергееву, к.г.-м.н. В.А. Жамойде, О.А. Ковалевой, И.А. Неевину, Ю.П. Кропачеву, М.А. Спиридонову, Н.Н. Ефимовой, Д.Г.-М.Н. к.т.н. Ф.А. Леонтьеву, А.А. Московцеву, В.В. Хорикову, Д.В. Прищепенко всестороннюю Особую благодарность выражает помошь. автор преподавательскому составу Санкт-Петербургского Горного университета: д.г.-м.н. А.С. Егорову, д.т.н. В.В. Глазунову, д.г.-м.н. Р.Э. Дашко, к.г.-м.н. Н.П. Сенчиной, к.т.н. Г.Д. Горельку и А.В. Чекулаеву за консультации, содействие в получении и обработке геофизического материала о палеодолинах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из Введения, четырех глав и Заключения.

В первой главе приводится краткий физико-географический очерк, информация о геологическом строении и истории геологического развития восточной части Финского залива в позднем неоплейстоцене-голоцене, дается обзор истории геоэкологических исследований и уровня современного техногенного воздействия на дно и береговую зону исследуемого района.

Площадь восточной части Финского залива в пределах Российской Федерации составляет около 11 000 км² – протяженность более 130 км. Береговая линия изрезанная и формирует крупные заливы. Невская губа (самый восточный из заливов) после завершения строительства Комплекса защитных сооружений от наводнения (КЗС) была фактически отделена от основной акватории залива и превратилась в природно-техногенную лагуну [Атлас..., 2010]. Для восточной части Финского залива характерен климат умеренных широт. Соленость в российской части залива низкая и колеблется в пределах 1-8 ‰. Современное волновое поле в прибрежных частях залива активно воздействует на донные отложения на глубинах до 3–3.5 м [Леонтьев, 2008], при экстремальных волнениях до глубины 8–10 м. Наиболее значительные подъемы уровня в восточной части Финского залива обусловлены влиянием штормового нагона [Некрасов и др., 1999].

Приповерхностное геологическое строение дна акватории и береговой зоны восточной части Финского залива характеризуется высокой степенью изменчивости, обусловленной историей геологического развития региона в четвертичное время [Атлас..., 2010; Рябчук и др., 2017].

На прибрежных территориях Санкт-Петербурга и Ленинградской области и в пределах акватории восточной части Финского залива четвертичные отложения образуют практически сплошной чехол на поверхности дочетвертичного субстрата. В основании разреза залегает комплекс поздневалдайских ледниковых образований верхнего неоплейстоцена, более ранние горизонты были эродированы в ходе распространения последнего оледенения, и сохранились лишь локально в палеодолинах [Квасов, 1975; Спиридонов и др., 1989].

При деградации ледника в позднем неоплейстоцене происходило формирование аккумулятивного ледникового рельефа [Ryabchuk et al., 2018a]. При дегляциации сформировались приледниковые озера, которые постепенно слились в Балтийское ледниковое озеро, глинистые отложения которого практически повсеместно перекрывают комплекс ледниковых образований [Субетто, 2009].

Основной особенностью геологического и палеогеографического развития региона в голоцене были неоднократные изменения уровня палеоводоемов (Анциловое озеро, Литориновое море, постЛиториновое море) вследствие сложного взаимодействия тектонических и климатических факторов. Положение береговых линий этих водоемов до сих пор остается дискуссионным [Субетто, 2009; Атлас..., 2010; Andren et al., 2011; Ryabchuk et al., 2018b; Буданов и др., 2019].

Несмотря на значительный объем имеющейся для Восточной части Финского залива геолого-геофизической информации [Логвиненко и др., 1980; 1988; Барков и др., 1986; Окнова и др., 1990; Спиридонов М.А. и др., 2004, Ауслендер и др., 2001ф, Атлас..., 2010], до настоящего времени отсутствуют систематизированные и визуализированные в виде картосхем среднего масштаба данные о мощностях слагающих верхнюю часть геологического разреза отложений и их распределении в контексте их геотехнических и геоэкологических свойств. Существенный недостаток геолого-геофизических данных наблюдается для

наиболее опасных с точки зрения хозяйственного использования участков геологической среды в пределах палеодолин в акватории Финского залива.

В 1967–1978 гг. в Финском заливе работали экспедиции Атлантического отделения ИО АН СССР [Геология Балтийского моря, 1976; Осадкообразование..., 1981; Геохимия осадочного процесса..., 1986].

Геоэкологический мониторинг в восточной части Финского залива начался в 1990-е гг., когда в ходе программы "Морской экологический патруль (МЭП)" была заложена сеть станций, до настоящего времени этот вид мониторинга осуществляется по единой установленной сети в Финляндии и Эстонии и России. В 1993–1995 гг. эколого-геологический мониторинг был начат в Невской губе [Шахвердов В.А., 1997]. С 1990-х гг. геоэкологический мониторинг разделился на отдельные направления, сфокусированные на различных геосферах и элементах экосистемы. Экологические аспекты состояния биоты исследуются специалистами ЗИН РАН, СПбГУ, НИЦЭБ РАН [Экосистема..., 2008; Орлова и др., 2015; Орлова, 2017]. Мониторинг водной толщи выполняется Северо-Западным территориальным Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС) [Ипатова, 2017]. Широкое распространение получил спутниковый мониторинг [Минаков, Чичкова, 2008; Сухачева, 2014], по которому выполняется оценка концентрации в верхнем слое воды минеральных взвешенных веществ и планктона.

Комплексный эколого-геологический мониторинг донных осадков и придонных вод выполнялся с 1999 по 2010 гг. Центром мониторинга геологической среды «Севморгео» [Информационный бюллетень ..., 2007, 2009]. С 2011 г. мониторинг состояния геологической среды восточной части Финского залива в рамках Государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовой зоны Балтийского, Баренцева и Белого морей, выполняет ФГБУ «ВСЕГЕИ» [Информационный бюллетень ..., 2012, 2013; Амантов, Буданов, Григорьев и др., 2014]. С 2012 г. в этих работах принимает непосредственное участие автор данного диссертационного исследования.

К настоящему моменту накоплен достаточно большой объем данных о содержании в донных отложениях, воде и различных компонентах экосистемы Финского залива поллютантов. В то же время отсутствие привязки результатов

точечных измерений содержания потенциально опасных компонентов, осуществляющихся различными организациями, к строению и геотехническим свойствам отложений верхней части геологического разреза резко снижает информативность выполняемых исследований, возможность сравнительного анализа полученных результатов и применения их при общей оценке и прогнозированию геоэкологического состояния акватории Финского залива.

Восточная часть Финского залива относится к акваториям, испытывающим наибольшую антропогенную нагрузку среди морей Российской Федерации. Исключительно высокий уровень антропогенной нагрузки на акваторию и береговые зоны восточной части Финского залива отмечается всеми исследователями, работающими в области экологии и геоэкологии морских акваторий России [Айбулатов, Артюхин, 1993; Айбулатов, 2005; Айбулатов, 2011; Донченко и др., 2008; Александрова, Митько, 2013; Ипатова, 2017; Кочеткова и др., 2017; Поляк и др., 2018; Экосистема..., 2008 и др.], а также специалистами Финляндии и Эстонии [Vallius, 2016; Raateoja, Setälä, (eds.), 2016 и др.].

Таким образом, исключительно высокая антропогенная нагрузка на акваторию и береговую зону восточной части Финского залива обосновывает актуальность геоэкологических исследований различных направлений.

В главе 2 описана методика геоэкологического картирования дна восточной части Финского залива, имеющая в основе стандартные геолого-геофизические методы, рекомендованные СП 11-114-2004 для оценки инженерно-геологических условий на шельфе, дополненная и усовершенствованная автором раздельно для региональных исследований (1:700 000) и детальных работ на ключевых участках акватории (1:10 000).

диссертационной ходе выполнения работы автором выполнена анализ значительного объема геолого-геофизической переинтерпретация И информации, полученной ВСЕГЕИ начиная с 1980-х годов в ходе реализации различных проектов в акватории и на берегах восточной части Финского залива. В полевых работах с 2012 г. автор принимал непосредственное участие, в том числе с 2015 г. – как основной исполнитель и организатор. Всего в работе использованы данные более 8000 км геофизического профилирования. Для интерпретации геофизических данных был выполнен анализ данных донного

пробоотбора (грунтовые прямоточные трубки и вибробурение, более 3000 станций). Комплексные геофизические исследования палеодолин, организованы и проведены автором на инициативной основе. Изложена методика оцифровки архивных записей НСП, а также методика обработки и интерпретации всего массива имеющихся геофизических данных, использованных автором [Буданов и др., 2014; Неевин, Буданов, Сергеев, 2015].

Сделан краткий обзор и анализ целесообразности применения различных геофизических методов на акватории с учетом их основных особенностей и информативности получаемых материалов. Описан комплекс полевых геологогеофизических методик, примененный автором В диссертационных ходе исследований для получения фактологической основы: НСП, НАЗ, ГЛБО, ОЭ и МЭ, донный пробоотбор, георадиолокация [Буданов и др., 2014; Буданов и др., 2017а, б, в; Буданов и др., 2018; Сергеев и др., 2019]. Приведены физические основы геофизических методов для НСП и НАЗ, описана методика и результаты произведенного компьютерного моделирования. Моделирование анализа выполнялось в специализированных программах ZONDRes2D (HA3), Oasis Montaj, Tesserael [Буданов и др., 2017]. Последовательно рассматривается аппаратура и методы первичной обработки материалов применявшихся методов.

Обработка, интерпретация и визуализация данных выполнены с применением программного обеспечения Surfer (Golden Software, CША) и ArcGIS 10.1^{тм}. Сформулирован методический подход к совместной интерпретации геолого-геофизической информации акватории и суши, обеспечивающий увязку данных о строении геологической среды, полученных на суше, в транзитной зоне и на акватории. Описана методика построения трехмерных моделей поверхности погребенного рельефа и расчета мощности отложений в геоинформационной системе ArcGIS 10.2.

В главе 3 представлены основные результаты диссертационной работы – предложенные критерии геоэкологического районирования и результирующие карты-схемы восточной части Финского залива.

Для создания интегральной схемы районирования исследуемой акватории были использованы следующие критерии: геоморфологические условия, геологическое строение, экзогенные геологические процессы, экологическое

состояние, газонасыщенность грунтов, техногенное воздействие. По аналогии с существующими СП 11-114-2004 было выполнено ранжирование оценки опасности (благоприятности) геоэкологического состояния по каждому из критериев (табл. 1). Актуальность предложенного подхода с точки зрения геоэкологии связана с принципиально важной ролью абиотических факторов в структуре донных (бентосных) ландшафтов, а также описанными в главе 1 особенностями техногенного воздействия в восточной части Финского залива [Буданов и др., 2019].

Таблица 1 Критерии оценки экологического состояния геологической среды

критерии состояния	относительно удовлетворительное	напряженное	критическое
	Равнинные участки дна, рельеф нерасчлененный	с плавным изменением глубинных отметок, рельеф	Участки дна с резкими изменениями глубинных отметок (гряды, банки и т.д.), поверхность сильно расчленена
Геологическое строение и тектоника	Выходы на поверхность (или близко к ней) морен, мощность послеледниковых отложений меньше 10 метров, отложения современных илов	Мощность послеледниковых отложений больше 10 метров, отложения современных илов отсутствуют	Мощность послеледниковых отложений больше 10 метров, разрез завершается слоем современных илов мощностью более 0,5 м; зона разрывных нарушений; зона развития погребенных врезов
Экзогенные геологические процессы	1	геологические процессы имеют ограниченное развитие; слабое воздействие на дно	(гравитационные процессы
Экологическая обстановка	пепонипующая спепа	незагрязненные	Алевропелитовые илы, загрязненные
The state of the s	и азонасыщенные илы отсутствуют	поля газонасышенных	Зоны сплошных газонасыщенных илов
Техногенное воздействие	II Inактинески отсутствует	Незначительное техногенное возлействие	Значительное техногенное воздействие антропогенных изменений дна акватории

Основным критерием оценки экологического состояния геологической среды в данной работе является рассчитанная по геофизическим данным площадь поверхности и мощность (объем) алевро-пелитовых илов седиментационных бассейнов, представляющих собой депонирующую среду для всех видов поллютантов. Как показало сравнение полученных данных с результатами геохимических и геоэкологических исследований и мониторинга, выполнявшихся «Севморгео» [Информационный..., 2007; 2009; 2012; 2013; 2014], на всех станциях

мониторинга, расположенных В пределах выделенных седиментационных бассейнов фиксировались превышения ОДК по пяти или более загрязняющим компонентам (Cd, As, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Cs-137, нефтепродукты). Таким образом, алевро-пелитовые илы седиментационных бассейнов представляют потенциальные источники вторичного загрязнения под воздействием природных [Kotilainen et al., 2007; Максимов, 2009 и др.], так и техногенных [Сухачева, 2014]) процессов.

Результатом геоинформационной обработки данных о геологических, геоморфологических, литодинамических, экологических и других условиях акватории восточной части Финского залива являлись матрицы данных по каждому из критериев.

Для **геоморфологического критерия** были выбраны данные об относительных углах склонов и о вертикальной расчлененности рельефа, критерий является наиболее значимым с точки зрения прокладки подводных коммуникаций, трубопроводов, кабелей и т.д. Результатом экспертной оценки опасности (неблагоприятности) геоморфологических условий является Интегральная схема.

геологический критерий вошли об особенностях данные приповерхностного геологического строения, определяющего условия освоения геологической среды, основанные на интерпретации материалов сейсмоакустического профилирования, данные о наличии погребенных долин и данные о положении разрывных нарушений. Геологический критерий является наиболее значимым с точки зрения строительства (в том числе формирования намывных и насыпных территорий с последующей застройкой, строительства ветропарков с подводным основанием, крупных гидротехнических сооружений [Буданов и др., 2017], строительства высотных зданий в береговой зоне, примыкающей в палеодолинам и др.

В схему экзогенных геологических процессов были включены следующие параметры: области устойчивой седиментации; глубина акватории; открытость акватории волнам, определяющая активный слой дна подверженный волновой переработки. Результатом экспертной оценки опасности (неблагоприятности) проявления экзогенных геологических процессов является Интегральная схема. Полученная схема имеет наибольшее значение с точки зрения планирования и реализации берегозащитных мероприятий.

В процессе создания Интегральной геоэкологической схемы дна и береговой зоны восточной части Финского залива с применением ГИС-технологий было установлено, что рассмотрение критерия «Техногенная нагрузка» по методике, аналогичной анализу природных факторов, является методически некорректным, так как зоны хозяйственной деятельности значительно различаются как по характеру воздействия (фарватеры на глубинах менее 15 м, где постоянно ведется дноуглубление и судовые ходы на остальной части акватории, где воздействие на окружающую среду не очевидно; зоны с четко установленным характером, глубиной и площадью техногенного воздействия (подводные отвалы грунта, карьеры по добыче полезных ископаемых и т.д.) и зоны, где интенсивность воздействия неизвестна (районы закрытые военно-морским флотом (ВМФ) и т.д.). В то же время все указанные участки дна априори исключают любое хозяйственное использование в ближайшем будущем. Поэтому слой «Техногенная нагрузка» был включен в Интегральную схему в качестве наложенного.

Интегральная схема геоэкологического районирования дна основана совокупной оценке критериев, отражающих геоэкологические условия и степень опасности освоения акватории восточной части Финского залива (рисунок 1) [Буданов и др., 2019]. Следует отметить, что при планировании различных видов хозяйственной деятельности наряду с Интегральной схемой целесообразно использовать отдельные специализированные схемы, составленные для отдельных критериев, комбинации. Так, например, или ИХ при строительстве гидротехнических сооружений, ветропарков, платформ и т.д. наиболее значимыми критериями оценки как безопасности и эффективности проекта, так и воздействия на окружающую среду являются геологический и геоморфологический. При планировании деятельности, связанной с дноуглублением, на первый план выходит экологический критерий. Глава 4 посвящена анализу геологического строения и геоэкологической роли палеодолин, изучению геолого-геофизических свойств и разработке физико-геологических моделей погребенных врезов.

Характерной особенностью рельефа дочетвертичной поверхности восточной части Финского залива являются многочисленные глубокие (до абсолютных отметок -100–(-150 м)) эрозионные врезы и ложбины [Амантов, 2010]. Наличие сложной системы погребенных плиоцен-плейстоценовых долин является

характерной чертой геологического строения северной Европы [Малаховский, 1984; Mads Huuse, 2000].

Благодаря значительному количеству данных буровых скважин, морфология сети палеодолин для территории Санкт-Петербурга установлена с высокой достоверностью [Ауслендер 1998; Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009; Дашко, 2011]. Однако, существующие схемы [Ауслендер 1998; Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009; Амантов, 2002], отображающие геометрию сети палеодолин на акватории Невской губы, имеют существенные отличия, не сформировано единое мнение ни о количестве палеодолин в пределах акваторий города, ни о их точном расположении ввиду практически полного отсутствия фактического геолого-геофизического материала.

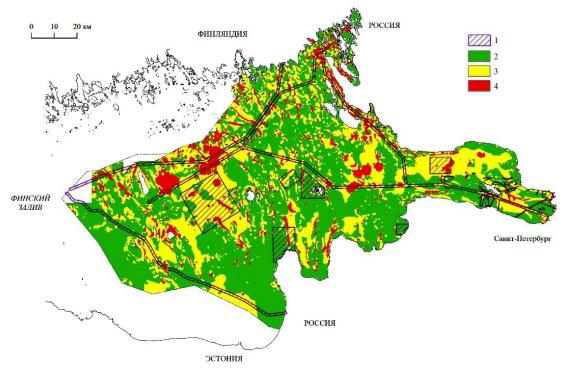


Рисунок 1. Интегральная схема геоэкологического районирования дна восточной части Финского залива: 1 – площади законодательно ограниченной хозяйственной деятельности; интегральная оценка геоэкологического состояния в баллах: 2 - 6 - 8 (безопасное); 3 - 8 - 9 (потенциально опасное); 4 - 9 - 13 (опасное) [Буданов и др., 2019].

В Приневской низине, на площади Санкт-Петербурга и акватории Финского залива (вне древних долин) обычная мощность четвертичной толщи варьирует от 20 до 45 м. Значительные мощности до 80–150 м приурочены к палеодолинам. В четвертичной толще, в пределах долин, выделяют следующие комплексы: до трех

ледниковых, до двух межледниковых, позднеледниковые и послеледниковые, встречающиеся на территории города [Ауслендер, 2002].

Инженерно-геологические свойства отложений, заполняющих палеодолины, характеризуются специфическим особенностями, среди которых значительную опасность для строительства может представлять: увеличенная ослабленных песчано-глинистых отложений, зачастую обводнённых, в том числе и 1998], минерализованными водами [Дашко, возможное развитие трещиноватости во вмещающих породах [Дашко, 2011]. К негативным факторам следует отнести обогащеснность рыхлых отложений микроорганизмами, которые продуцируют малорастворимые газы (метан, азот, сероводород и др.), переводящие песчано-глинистые грунты в неустойчивые состояния разуплотняя их, обычно прослеживается до глубины 30.0-50.0 м [Дашко, 2011]. При осуществлении хозяйственной деятельности (прежде всего, строительства) необходимо адекватное обоснование технологии ведения инженерных работ с учетом инженерногеологических условий.

В главе приведены авторские обобщенные геологические, геоэлектрические и акустические разрезы палеодолин, а также их физикогеологические модели. Обоснована разделение врезов по степени геоэкологической опасности на два типа, основывающаяся на различиях в структурно-вещественных комплексах (СВК), выделенных на моделях.

В результате выполненных в акватории Невской губы полевых исследований выделено и прослежено два вреза, невыраженных в современном рельефе (подтверждается данными акустических методов). Один врез расположен в центральной части водоема. Его ширина выдержана и составляет около 1.3 км, а длина его осевой линии, от северной оконечности о. Котлин до Василеостровского района Санкт-Петербурга, - 27 км. По проявлению облика этой долины на геоэлектрических разрезах она была отнесена к долинам I типа. Геологические данные о строении продолжения этой долины на территории города также глинистом свидетельствуют преимущественно отложений, 0 ee составе выполняющих врез [Ауслендер, 2001ф]. Врез, прослеженный вдоль северного берега, имеет ширину 45-600 м, и протяженность осевой линии от створа КЗС до Приморского района Санкт-Петербурга составляет около 8 км. По проявлению на геоэлектрических разрезах долина отнесена ко II типу, продолжение долины,

прослеженное на суше, по данным бурения имеет преимущественно песчаное наполнение [Николаева и др., 2012].

Долины второго типа также обнаружены в акватории Сестрорецкого разлива и в береговой зоне (на пляже и прибрежной акватории) Курортного района Санкт-Петербурга, их ширина достигает 3.2 км в месте соединения двух врезов.

Фактическое положение зафиксированных врезов существенно отличается от предполагаемого (по опубликованным схемам), смещение тальвега достигает 400 м на суше и до нескольких километров на акватории, при этом геометрия врезов в Невской губе получила существенное уточнение во многом благодаря предложенной выше типизации (ранее считалось, что долина в центральной части протягивается от створа КЗС до Василеостровского района, а не от о. Котлин). Такие расхождения в первую очередь связаны с отсутствием фактических материалов в зоне пляжей и на малоглубинных акваториях.

результатам исследований составлена схема пространственного распределения погребенных долин на малоглубинных акваториях Санкт-Петербурга (рисунок 2). Для врезов, зафиксированных в результате полевых исследований, были определены типы, установлена их геометрия. Построеннная схема достаточно хорошо кореллирует с достовеными данными о долинах на суше, позволяет однозначно определить количество и пространственное распределение различного типа, что, безусловно, важно при геоэкологическом районировании геологической среды акватории.

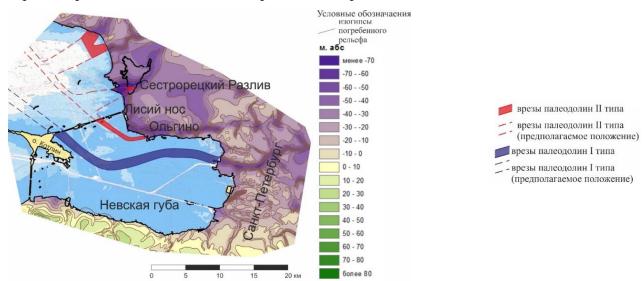


Рисунок 2. Схема пространственного распределения погребенных долин на малоглубинных акваториях Санкт-Петербурга.

ВЫВОДЫ

В ходе диссертационного исследования получены следующие основные выводы:

- 1. Для составления интегральной картосхемы геоэкологического районирования восточной части Финского залива и прилегающей территории основными являются критерии, разработанные на основе анализа дочетвертичного абиогенных палеорельефа И ключевых элементов донных геоморфологические условия, геологическое строение, экзогенные геологические процессы, экологическое состояние, газонасыщенность грунтов, техногенное воздействие. Выбор критериев обусловлен базовой ролью абиотических элементов донных ландшафтов, определяющих распределение биотопов, также особенностями техногенного воздействия район исследования.
- 2. В акустических временных разрезах выделяются три акустических комплекса (АК), отложения которых обладают различными геотехническими свойствами, отражающими различные условия формирования геологической среды в неоплейстоцен-голоценовый этап развития восточной части Финского залива. Породы и отложения АК1 характеризуются низкой пористостью и влажностью, высокой плотностью и устойчивостью и являются грунтами пригодными для строительства. Отложения АК2, представленные ледниково-озерными глинами, для которых характерна сравнительно высокая влажность, пористость и пониженная плотность, являются непригодными для строительства. АК3, представленный полужидкими алевро-пелитовыми илами, которые обладают минимальными прочностными характеристиками, зачастую газонасыщены, а также являются депоцентрами для различных полютантов.
- 3. На мелководных акваториях залива и прилегающей территории Санкт-Петербурга с помощью оригинального (разработанного автором) комплекса геофизических методов геоэкологических исследований обнаружены и оконтурены палеодолины особенности их внутреннего строения.
- 4. Согласно результатам физико-геологического моделирования, в региональной сети палеодолин существует девять СВК, обладающих уникальным набором физических и литологических свойств и обусловливающих различия во влиянии палеодолин различного типа на геоэкологические условия. Основные различия выявленных СВК связанны с наличием водонасыщенных песчаных отложений и уровнем загрязнения грунтовых вод.

- 5. В соответствии построенной интегральной схемой c геоэкологического районирования для 57 % площади района исследования геоэкологическое состояние классифицируется как «относительно удовлетворительное» для хозяйственной деятельности, «напряженные» участки 32 % площади. Сюда относятся, прежде всего, бассейны в которых происходит накопление седиментации, алевро-пелитовых илов, средой накопления загрязнения. В естественных являющихся условиях седиментации эти зоны не представляют опасности, в то же время при техногенном воздействии (прокладка подводных коммуникаций, газопроводов, добыча железомарганцевых конкреций, дноуглубление, дампинг) здесь может возникнуть кратковременное негативное воздействие на окружающую среду. Также к потенциально опасным зонам относятся области интенсивного волнового размыва дна в пределах прибрежных мелководий и подводных поднятий. «Критические» зоны, неблагоприятные для хозяйственной деятельности, занимают 11 % площади дна и пространственно приурочены к зонам развития газонасыщенных осадков и крутым склонам подводных поднятий.
- 6. Таким образом, на основе геоэкологического районирования с учетом роли погребенных палеодолин выявлены особенности пространственной дифференциация геологической среды восточной части Финского залива и прилегающих территорий, имеющие существенное значение для ее устойчивого развития.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

- 1. **Буданов, Л.М.** Применение методов гидроэлектразведки для картирования форм палеорельефа акватории «Сестрорецкий Разлив» / **Л.М. Буданов,** В.В. Глазунов, А.Ю. Сергеев, Н.Н. Ефимова // Естественные и технические науки. − 2017. − № 3. − С. 52-57.
- 2. Рябчук, Д.В. Седиментационые процессы в послеледниковых водоемах по данным исследований донных отложений восточной части Финского залива / Д.В. Рябчук, А.Г. Григорьев, Т.В. Сапелко, В.А. Жамойда, А.Т. Котилайнен, А.Ю. Сергеев, **Л.М. Буданов** // Известия РГО. 2017. Т. 149(3). С. 32-52. (ВАК)

Публикации, индексируемые в системах цитирования Scopus

- 3. Ryabchuk D. Geomorphology and Late Pleistocene–Holocene Sedimentary Processes of the Eastern Gulf of Finland / Ryabchuk D., Sergeev A., Krek A., Kapustina M., Tkacheva E., Zhamoida V., **Budanov L.**, Moskovtsev A., Danchenkov A. // Geosciences. 2018. Vol. 8. P. 102.
- 4. Ryabchuk D.V. New data on the postglacial development of Narva-Luga Klint Bay (eastern Gulf of Finland): Results of geoarchaeological research/Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Gerasimov D.V., Kriiska A., Nordqvist K., **Budanov L.M.**, Kovaleva O.A., Zhamoida

- V.A., Anisimov M.A., Terekhov A.V. // Journal of Coastal Conservation. 2019. Vol. 23, no. 4. P.1–20.
- 5. **Budanov L.** Main stages of geological development of the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea) in the Late Pleistocene Holocene based on the analysis of archive subbottom profiling data / Budanov L., Sergeev A., Ryabchuk D., Zhamoida V., Neevin I.// Marine Technologies 2019 2019. P. 191-198 [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=96824
- 6. **Budanov L.** Mapping of buried valleys within the waters of the lake sestroretsky spill according to complex geophysical studies / Budanov L.M., Glazunov V.V., Sergeev A.Y., Kropachev Y.P. // 13th Conference and Exhibition «Engineering Geophysics 2017». 2017. P. 190-198.
- 7. Gorelik G. Application of CDP seismic reflection method in buried paleo-valley study / Gorelik G., **Budanov L.**, Ryabchuk D., Zhamoida V., Neevin I. // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019 2019. P. 786-792.
- Sergeev A., GPR data correlation for determine the buried Holocene coastlines formed during the change the level of the Baltic Sea in Sergeev A., **Budanov L.**, Ryabchuk D., Zhamoida V., Neevin I. // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019 – 2019. – P. 602-609.

Публикации в иных изданиях

- 9. Ryabchuk D., Zhamoida V., Sergeev A., Kovaleva O., Nesterova E., **Budanov L.** The coastal erosion map for different climate change scenarios. Compilation methodology and results. ENPI CBC 2007 2013 Russia-South Eastern Finland // Climate Proof Living Environment (CliPLivE) Project report. St. Petersburg, 2015, 28 p.
- 10. **Буданов, Л.М.** Геоэкологическая оценка и районирование дна Финского залива / Л.М. Буданов, А.Ю. Сергеев, Д.В. Рябчук, В.А. Жамойда // Региональная геология и металлогения. -2019. №79. С. 23-34.
- 11. Амантов, А.В. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. [Электронный ресурс] / А.В. Амантов, **Л.М. Буданов**, А.Г. Григорьев и др. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2014. 136 с. Режим доступа: https://www.vsegei.ru/ru/public/info_marine/.
- 12. Орлова, М.И. Модельные участки проекта Топконс природные особенности и антропогенные воздействия / М.И. Орлова, Д.В. Рябчук, Л.Л. Сухачева, Н.Б. Останин, А.Ю. Сергеев, **Л.М. Буданов**, И.А. Неевин, В.А. Жамойда // Региональная экология. 2015. № 3 (38). С. 32-48.
- 13. Неевин, И.А. Геолого-геофизические методы как источник базовой информации для последующих биологических исследований и картирования подводных ландшафтов / И.А. Неевин, **Л.М. Буданов**, А.Ю. Сергеев, Д.В. Рябчук, В.А. Жамойда, О.В. Дронь // Региональная экология. − 2015. − №4 (39). − С. 5-24.
- 14. **Буданов, Л.М.** Применение комплекса геофизических методов для уточнения геологического строения донных отложений Сестрорецкого разлива / Л.М. Буданов, В.В. Глазунов, А.А. Московцев, Д.В. Рябчук, А.Ю. Сергеев // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского. 2017. С. 514-515.
- 15. Zhamoida V., Ryabchuk D., Sergeev A., Grigoriev A., **Budanov L.** Transformation of geological environment of the eastern Gulf of Finland and its coastal zone as a result of anthropogenic impact // International Scientific Forum «Gulf of Finland natural dynamics and anthropogenic impact», devoted to 50th anniversary of Trilateral Gulf of Finland Co-operation: Abstracts (17-18 October 2018, St. Petersburg, Russia). SPb.: VSEGEI Press, 2018. Pp. 90—92.

Буданов Леонид Михайлович

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ ДНА И БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук

Подписано в печать «__» декабря 2019 Формат 60х90 1/11 Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано в типографии Издательства Балтийского федерального университета имени И. Канта 236022, г. Калининград, ул. Гайдара, 6