

На правах рукописи

Килесо Александр Владимирович

Влияние рельефа подводного берегового склона на геоэкологическое состояние береговой морфосистемы (на примере Калининградского полуострова)

Специальность 1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград

2022

Работа выполнена в НОЦ «Геоэкологии и морское природопользование»
Института живых систем ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта»

Научный руководитель: Гриценко Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

Официальные оппоненты: Гогоберидзе Георгий Гививич, доктор экономических наук, кандидат физико-математических наук, доцент, Мурманский арктический государственный университет, ведущий научный сотрудник

Бадюкова Екатерина Николаевна, кандидат географических наук, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского»

Защита состоится «24» ноября 2022 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 24.2.273.01 при ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236016, г. Калининград, ул. А. Невского, д. 14, ауд. «Скворечник», e-mail: tikuznetsova@kantiana.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского федерального университета им. И. Канта (г. Калининград, ул. Университетская, д. 2).
Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»: <https://kantiana.ru/postgraduate/dis-list/kiles0-aleksandr-vladimirovich/>

Автореферат разослан «__» сентября 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Т.Ю. Кузнецова

Актуальность исследования. Прибрежная зона моря отличается высокой изменчивостью характеристик вследствие активного обмена потоков вещества и энергии между сушей и морем, определяемой ветровой нагрузкой, осадками, величиной терригенного стока и хозяйственной деятельностью человека [Прибрежная зона моря..., 2004; Жиндарев, 1997; Бабаков, 2003]. Главными факторами, определяющими процессы формирования морских берегов Калининградской области, являются вдольбереговой транспорт песка (в пределах зоны ветро-волнового воздействия, до глубин в 10-15 м) и наличие скопления песка на подводном склоне.

В Калининградской области на фоне инструментально зафиксированных изменений гидрометеорологической обстановки [Стонт и др., 2010; Tytkowski, 2017] участились факты размыва берегов, «исчезновения» морских пляжей, вплоть до их разрушения в основании Куршской косы. Наиболее масштабные преобразования в прибрежной зоне моря происходят во время сильных штормов. Очевидно, что экстремально большая абразия берегового склона дна и самого берега разрушает природную экосистему прибрежной зоны Балтийского моря. Поэтому, проблема выявления физико-географических факторов и геоэкологических последствий экстремально высоких скоростей разрушения берегов юго-восточной Балтики весьма актуальна.

Степень разработанности проблемы. Данные промеров свидетельствуют об отсутствии дефицита песчаного материала вдоль западного побережья Калининградского полуострова и Вислинской косы, что находит отражение в существовании здесь развитых (шириной более 50 - 100 м) песчаных пляжей. Подводные залежи песка имеются на северном участке западнее мыса Гвардейский и в основании подводных террас на глубинах 15 - 20 м, а также мористее пос. Янтарный, где наблюдается обширный конус выноса вскрышных пород, от ранее сброшенных в море из карьеров Янтарного комбината. Существующие схемы литодинамических процессов [Зенкович, 1958; Болдырев и Рябкова, 2001; Муселяк, 1988; Леонтьев, 2012; Бабаков, 2003; Бабаков и Чубаренко, 2019], описывающие в том числе и транспорт песка вдоль морских берегов, не дают полного понимания процесса их разрушения.

Объект исследования – береговая морфосистема Калининградского полуострова.

Предмет исследования – роль подводного берегового склона в изменчивости геоэкологического состояния в условиях формирования и развития поперечных береговой линии неровностей рельефа, представляющих опасность при сильных штормах, провоцирующие нарушение целостности береговой морфосистемы.

Цель исследования: оценить значимость особенностей рельефа подводного берегового склона на ухудшение геоэкологического состояния береговой морфосистемы Калининградского полуострова.

Задачи работы:

1. На основе анализа результатов ранее выполненных исследований об изменчивости морфосистемы прибрежной зоны моря обосновать методику оценки ее геоэкологического состояния.

2. Выявить роль орографической опасности поперечных форм подводного рельефа для устойчивости береговой морфосистемы, методом численного моделирования штормовой динамики прибрежных вод.

3. Разработать пространственную классификацию береговой морфосистемы по степени потенциальной значимости фактора орографической опасности.

4. Оценить повторяемость возникновения орографической опасности для устойчивости геоэкологического состояния береговой морфосистемы.

Фактический материал и методы исследования. В работу вошли результаты эхолотных промеров подводного берегового склона Калининградской области (Калининградский полуостров), предоставленные ГБУ КО "Балтберегозащита". Имеющиеся данные были дополнены авторским эхолотным промером полигона в районе Светлогорской бухты (северное побережье Калининградского полуострова), выполненный в рамках проекта РФФИ 17-05-41029 РГО_а «Структура и циркуляция вод Балтийского моря вблизи Калининградской области». Также использовались массивы метеоданных за период с 2006 по 2017 гг. с метеостанции, расположенной на морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) Д-6 на месторождении Кравцовское в Балтийском море, предоставленные ООО «Морское венчурное бюро».

Обработка, визуализация данных эхолотных промеров, а также дифференциально-геометрический анализ ЦМР подводного берегового склона производились с помощью геоинформационной системы Quantum GIS. Оценка

повторяемости возникновения орографической опасности для устойчивости геоэкологического состояния береговой морфосистемы выполнена при помощи статистического анализа метеоданных и трехмерного численного моделирования штормовой динамики прибрежных вод, с использованием модели «SHYFEM». Широко использовался картографический метод.

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые на основе цифровой модели рельефа подводного берегового склона Калининградского полуострова выделены участки с протяженными (до сотни метров) морфологическими особенностями в виде борозд поперечного к берегу направления [Kilesa et al. 2016]. Показано, что эту особенность строения подводного берегового склона можно рассматривать как предпосылку для возникновения в штормовых условиях опасности нового типа – орографической – влияющей на устойчивость геоэкологического состояния береговой морфосистемы.

Реализованный в работе подход позволяет определять участки береговой морфосистемы, потенциально наиболее подверженные разрушению из-за выноса наносов на большие глубины придонными взвесенесущими течениями, порождая дефицит песка для питания пляжей и ставя под угрозу само существование соответствующей части береговой морфосистемы [Килесо и др., 2020]. Современные системы многолучевого сканирования поверхности подводного берегового склона повышают возможность практической реализации предложенного подхода и его значения для понимания изменчивости конкретных участков береговой морфосистемы. На основе предложенного в работе подхода выполнена пространственная классификация всей береговой морфосистемы Калининградского полуострова по степени возможного влияния на нее фактора орографической опасности [Килесо и Гриценко, 2019].

При помощи 3d-численного моделирования динамики прибрежных вод юго-восточной Балтики предложена методика и выполнена вероятностная оценка повторяемости (реализации за десятилетний период) гидрометеорологических условий потенциально благоприятных для возникновения орографической опасности для частей береговой морфосистемы, характеризующая возможности возникновения экстремально большого по объему выноса песчаного материала и, как следствие, негативного воздействия фактора для отдельных участков береговой морфосистемы Калининградского полуострова. Данное обстоятельство

может помочь в принятии управленческих решений по сохранению берегов Калининградского полуострова и пляжевой системе на них. Впервые осознана важность фактора гидродинамической неустойчивости типа Рэлей-Тейлора распространения вдоль склона дна взвесенесущих течений штормовой природы для устойчивого состояния береговой морфосистемы.

Защищаемые положения:

1. Многократно наблюдаемые (наблюденные, произошедшие) экстремально большие разрушения отдельных частей береговой морфосистемы Калининградского полуострова после интенсивного штормового воздействия позволили установить существование опасности нового типа - орографической - для геоэкологического состояния береговой морфосистемы. Степень значимости этой опасности возрастает в условиях увеличивающейся штормовой активности в регионе юго-восточной Балтики.

2. По степени значимости орографической опасности в составе береговой морфосистемы Калининградского полуострова выделено три типа участков побережья: высокоопасные (29% от всей протяженности берегов), умеренноопасные (9,5%), слабоопасные (61,5%)

3. Повторяемость за десятилетний период гидрометеорологических условий потенциально благоприятных для возникновения орографической опасности для геоэкологического состояния участков береговой морфосистемы составила, в среднем, 9,1% и 2,5% при сильных и штормовых ветрах соответственно. Данное обстоятельство необходимо учитывать в различных видах хозяйственной деятельности.

Практическое значение работы. Оценено влияние впервые выделяемой орографической опасности на стабильность существования морфосистемы, а также на основные виды хозяйственной деятельности – рекреационной, рыбохозяйственной, строительной, берегозащитной и др.

Предложенные автором методы и подходы могут быть использованы при прогнозировании развития абразии берегов и подводного берегового склона.

Результаты исследования могут найти применение в управленческих решениях, при экономическом планировании развития морских территорий в рамках комплексного управления прибрежной зоной.

Достоверность и апробация результатов. Материалы диссертации были представлены на международных и национальных конференциях, в том числе:

Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» (Санкт-Петербург, 2017, 2018, 2019); Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2017, 2018)» (Москва, 2017, 2018); Международного симпозиума «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере МСП-2018» (Москва, 2018); XXII Международная Научная конференция (Школа) по морской геологии. (Москва, 2017) ;II Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» (Москва, 2017); Международной научно-практической конференции «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий» (Майкоп, 2017); Всероссийская научная школа молодых ученых "Волны и вихри в сложных средах" (Москва, 2013).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 3 в изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых базой Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 110 страниц, включая 9 таблиц и 34 рисунков. Список литературы содержит 182 наименования, из которых 58 – зарубежные источники.

Соответствие паспорту специальности. Исследование соответствует паспорту специальности 1.6.21 – Геоэкология (географические науки) по пунктам 1.6, 1.13, 1.16, 1.17.

Личный вклад автора. Автором выполнена обработка первичных данных эхолотных промеров и метеоданных, с использованием статистических и дифференциально-геометрических методов. Подготовлена численная трехмерная гидродинамическая модель юго-восточной Балтики на основе модели SHYFEM. Калибровка, верификация и модельные расчеты штормовой динамики вод у берегов Калининградского полуострова, представленные в работе, выполнены лично автором. Автор также произвел интерпретацию, картографическое представление (визуализацию) полученных результатов с использованием ГИС-технологий, сопоставления и выводы. Автор участвовал в сборе полевых данных в экспедициях в качестве «исполнителя» в 2018 г. и «начальника экспедиции» в 2019 г. в рамках проекта РФФИ 17-05-41029 РГО_а «Структура и циркуляция вод Балтийского моря вблизи Калининградской области».

Благодарности. Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю В.А. Гриценко за помощь на всех этапах исследований, критические замечания и полезные советы, а также коллегам из ИО РАН и БФУ им. И. Канта: Л.А. Жиндареву, И.П. Чубаренко, Б.В. Чубаренко, А.Б. Демениной, В.В. Сивкову – за поддержку и ценные замечания. За предоставленные материалы особо признателен ГБУ КО "Балтберегозащита" и ООО «Морское венчурное бюро».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава 1. География и геоэкология прибрежной зоны: постановка задачи

1.1 Физико-географические посылки, основные понятия. Классические схемы [Зенкович, 1958; Болдырев и Рябкова, 2001; Муселяк, 1988; Леонтьев, 2012; Бабаков, 2003; Бабаков и Чубаренко, 2019], описывающие транспорт песка на побережье Калининградской области, не дают полного объяснения фактам разрушения берегов. Проблема выявления причин, физико-географических и геоэкологических последствий экстремально высоких скоростей разрушения берегов юго-восточной Балтики все более значима. Обзор литературных источников показал, что выделение объекта исследований в прибрежной зоне моря, не является тривиальной задачей.

Анализ существующих подходов к описанию элементов прибрежной зоны моря показал, что концепция береговой морфосистемы [Игнатов, 2004] позволяет наиболее достоверно пространственно локализовать объект изучения без потери совокупности физико-географических факторов, определяющих эволюция изучаемой природной подсистемы.

1.2. Взаимоотношение географических и геоэкологических исследований. Для анализа геоэкологического состояния природной системы крайне важен адекватный выбор методологии исследования для корректного понимания большинства структурно-функциональных зависимостей и связей, определяющих и ответственных за целостность и стабильность ее существования. Универсального геоэкологического подхода к описанию изменчивости различных природных систем и единства взглядов исследователей на геоэкологическую оценку их состояния не существует.

Совокупность проблем, связанных с определением норм экосистем, их устойчивости, изучением их трансформаций под прессом антропогенных воздействий и нахождением предельных величин нагрузок, В.В. Дмитриевым и Г.Т. Фруминым [2004], вслед за другими авторами, была обозначена термином «экологическое нормирование». Данный подход направлен на диагностику природного объекта, целью которого является выявление его свойств и получение количественных оценок выделенных параметров. Таким образом, формируется понятие «вектора состояния системы» или «портрета» природной системы, как совокупности упорядоченных переменных объекта, отражающих его основные свойства.

Глава 2. Обоснование существования орографической опасности для устойчивости береговой морфосистемы

2.1 Морфолитодинамика морской прибрежной зоны Калининградской области. Анализ существующих схем вдольбереговых потоков наносов в районе Калининградского полуострова показал, что до сих пор нет единого представления о структуре потока наносов.

Одним из первых комплексным международным исследованием гидро и литодинамических процессов в прибрежной зоне Балтийского моря являлась серия натурных экспериментов «ЕКАМ-73» [The Interaction of the Sea..., 1975], «Любятово-74» [Properties and..., 1976] и «Любятово-76» [Береговые процессы..., 1978]. Основной задачей эксперимента «Любятово-76» было изучение взаимодействия гидросферы и литосферы в зоне их контакта, в частности описание динамики движения донных наносов под действием волн и течений. Авторы показали, что разрывные течения - «турбидиты», действующие при сильном волнении, формируют неслоистые толщи осадков. Еще одним важным результатом [Анцыферов и др., 1978] является факт фиксации во всех наблюдениях на глубине 18,5 м взвешенного песчаного и крупноалевритового материала. Причем большие концентрации наблюдались даже при не очень сильном волнении.

Результаты натурных экспериментов [Жиндарев, 1997] по исследованию литодинамики береговой зоны расчлененных отмелых побережий бесприливных морей, которые проводились на побережье юго-восточной Балтики, показали, что динамика наносов на подводном склоне и пляже полностью контролируются особенностями распределения волновой энергии и придонных течений. Анализ

проб донных отложений показал, что полосы мелкозернистого песка, которые располагаются вдоль уреза на протяжении всего участка за исключение мысов, в пределах бухт расширяются и уходят на глубины 15-16 м. Данные участки выноса песка соответствуют слабовыраженным ложбинам, которые, маркируют пути движения масс воды, направленных от урезов в сторону моря. Прямым доказательством существования придонных разрывных течений, которые способны выносить наносы на глубины 12 м и более, являются опыты с люминисцентными трассерами [Жиндарев, 1997].

Множественные факты, свидетельствующие о переносе взвешенного материала на большие глубины, позволяют утверждать о спорадически возникающем механизме, приводящем в действие данный перенос. Данный механизм объясняется действием разрывных течений, возникающих в результате нагона воды [Жиндарев, 1997].

2.2 Взвесенесущие течения штормовой природы. Основной силой, которая определяет существование и движение взвесенесущих течений, является гравитация. В тоже время, важным параметром, который определяет структуру течений, является угол наклона дна [Hsu, 2004]. Большое количество исследований показывают, что каньоны или каналы являются стандартными участками, которые отвечают за перенос взвешенных донных осадков, выноса рек и др. Каньоны Монтерей, Канада [Greene et al., 2002; Paull et al., 2003], район острова Савари, Канада [Barrie and Conway, 2019], восточное побережье Австралии [Boyd et al., 2008], или побережье Японии [Yoshikawa and Nemoto, 2010] являются типичными примерами, когда орографические особенности подводного берегового склона приводят к отрицательному бюджету наносов в прибрежной зоне.

Для проверки потенциальной возможности формирования придонных взвесенесущих течений, возникающих в прибрежной зоне в штормовых условиях, выполнено численное моделирование [Килесо и Гриценко, 2018]. В работе выполнена серия модельных расчетов для различных значений угла наклона дна модельного пространства. Данные значения подбирались так, чтобы соответствовать характерным значениям угла наклона дна для подводного склона у берегов Калининградского полуострова (рис.1).

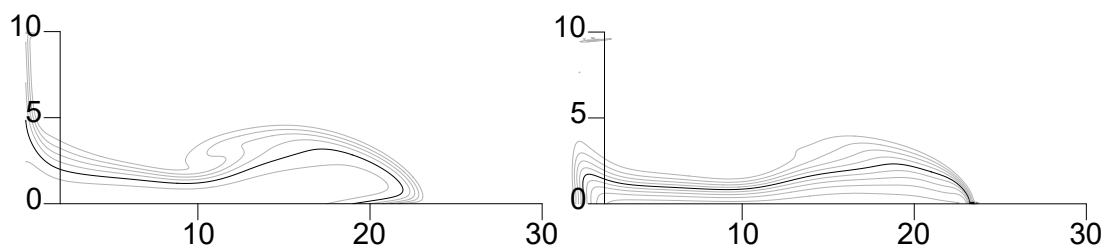


Рис. 1 – Одновременное распределение полей безразмерной избыточной плотности (левый рисунок) и трассера, который определяет динамику взвешенного материала (правый рисунок). Изолинии: от 0 до 1 с шагом 0.15 (для левого) и 0.1 (для правого). Сетка 1500x200. Характерные значения: $\alpha = 0.052, U = 3 \frac{\text{см}}{\text{с}}, H = 6 \text{ см}, \Delta\rho = 0.01 \text{ г/см}^3$.

Сформированный в зоне ветро-волнового воздействия большой объем взвешенных наносов под действием силы тяжести устремляется вниз по склону в виде гравитационных потоков. Постепенно происходит осаждение наносов, что приводит к затуханию придонного течения.

Анализ литературных источников и результатов численного моделирования позволяет утверждать, что в штормовых условиях сформировавшийся большой объем взвесенесущей воды будет уноситься вглубь моря в виде придонных взвесенесущих течений. Часто траектории выноса приурочены к морфологическим особенностям морского дна, таких как, подводные каньоны. Даже незначительное увеличение уклона дна может приводить к более интенсивному формированию такого рода течений, а орографические особенности подводного берегового склона, имеющих кросс-склоновую ориентацию, способны фокусировать данные течения, чтобы приводит к их более дальнему распространению вглубь моря. Результатом таких процессов будет недостаток песчаного материала для питания пляжей, что, в свою очередь, будет приводить к их более интенсивной абразии.

Интенсивная абразия берегов и соответствующее разрушение инфраструктуры и др., приводящее к ухудшению природопользования приводят к потерям как экономического, так и экологического характера. Для уменьшения данных потерь и принятия решения о том или ином экономическом действии необходимо проанализировать потенциальные источники потерь, которые, согласно [Карлин и Абрамов, 2006], называют опасностями. Таким образом, данный тип опасности, проявляющийся в более интенсивной абразии берега в

следствии уноса песчаного материала в виде придонных взвесенесущих течений в штормовых условия, сфокусированных орографическими особенностями подводного берегового склона, имеющих кросс-склоновую ориентацию, предлагается называть фактором орографической опасности для береговой морфосистемы.

2.3 Ветровое воздействие как определяющий фактор появления орографической опасности для частей береговой морфосистемы. Оценка значимости фактора орографической опасности для береговой морфосистемы в следствии возникновения и развития коротко живущих придонных взвесенесущих течений, невозможна без рассмотрения характера поля ветра и возникающего ветрового нагона вод, который является одним из основных фактором, приводящий к интенсивной абразии берегов.

Массив данных, описывающий скорость и направление ветра, взят с метеостанции, расположенной на морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) Д-6 на месторождении Кравцовское в Балтийском море. Данные массивы предоставлены ООО «Морское венчурное бюро». В данной работе рассмотрены данные за одиннадцатилетний период с 2006 по 2017 года.

Глава 3. Оценка степени влияния фактора орографической опасности на геоэкологическое состояние береговой морфосистемы

3.1. Пространственная оценка степени возможного влияния фактора орографической опасности.

В качестве исходных данных при исследовании рельефа в контексте поставленной в работе задачи использовались результаты эхолотных промеров подводного берегового склона Калининградского полуострова, предоставленные ГБУ КО "Балтберегозащита". Массив данных был дополнен эхолотным промером полигона в районе Светлогорской бухты (северное побережье Калининградского полуострова), выполненный в рамках проекта РФФИ 17-05-41029 РГО_а «Структура и циркуляция вод Балтийского моря вблизи Калининградской области». На базе этих материалов была построена цифровая модель рельефа с горизонтальным пространственным разрешением 30 x 30 метров (рис.2). Диапазон глубин составил от 0 до 26 метров.

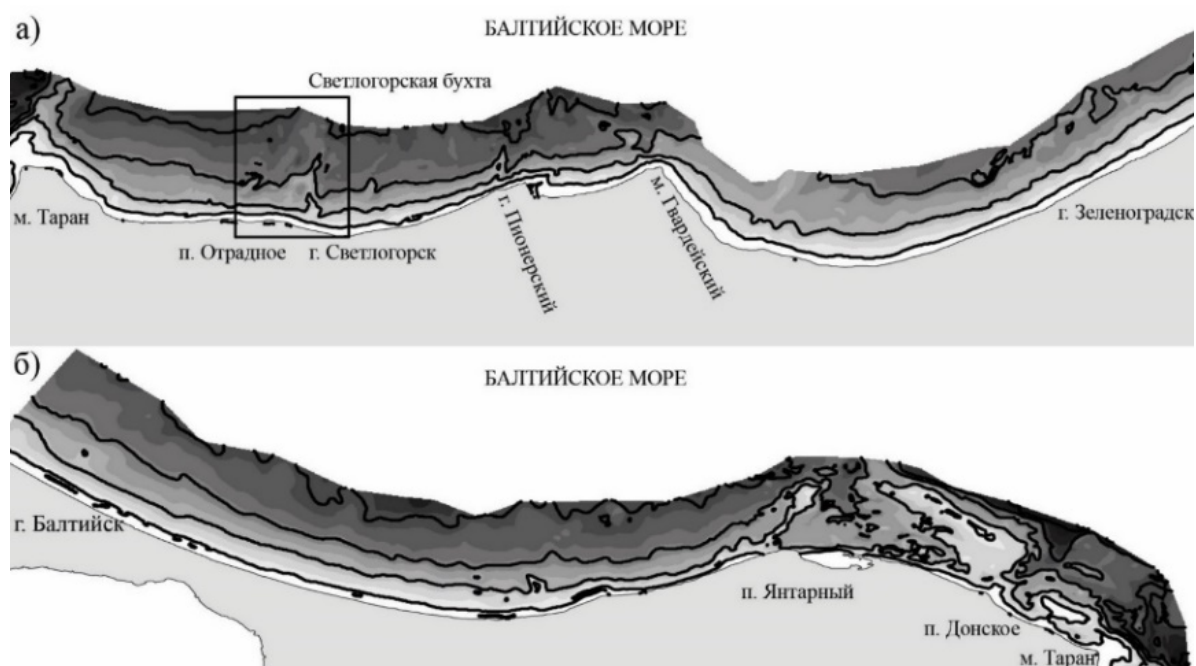


Рис. 2– Цифровая модель рельефа подводного берегового склона северного (а) и западного (б) побережья Калининградского полуострова. Квадратом отмечен полигон в Светлогорской бухте. Изобаты с шагом 5 м от 5 м до 25 м.

Идентификация чередующихся положительных и отрицательных форм рельефа выполнялась с помощью расчета градиентов рельефа по направлениям вдоль- и перпендикулярно к береговой линии. [Гонзалес и Вудс, 2005; Birrough and McDonell, 1998]. Анализ полученных данных показал значительную пространственную неоднородность всего прибрежного донного рельефа. Однако на общем фоне побережья области отчетливо выделяются районы с характерными морфологическими особенностями. На северном побережье Калининградского полуострова: Светлогорская бухта (от мыса Таран до г. Пионерский) (рис. 3), район мыса Гвардейский до г. Зеленоградск. На западном побережье они отмечены на участке от п. Янтарный до п. Донское. В данных районах на картах с рассчитанными значениями вдольберегового градиента рельефа отчетливо прослеживаются положительные и отрицательные формы рельефа, которые имеют поперечную к береговой линии ориентацию.



Рис.3 - Значения поперечного к берегу градиента рельефа подводного берегового склона для Светлогорской бухты (от мыса Таран до г. Пионерский). Овалами выделены районы с характерными поперечными положительными и отрицательными формами рельефа.

Для проверки гипотезы [Kileso et al., 2017] о том, что данные формы рельефа могут способствовать уходу больших объемов взвешенного в виде локализованных в пространстве интенсивных взвесенесущих потоков в условиях сильных штормов для выделенных участков был выполнен расчет траекторий наискорейшего спуска и кривизны для используемой цифровой модели рельефа (рис. 4) [Jenson and Domingue, 1988]. Расчет показал, что в совокупности с большими объемами взвешенного вещества в штормовых условиях в прибрежной зоне данные формы рельефа способны обеспечивать формирование локализованных в пространстве интенсивных взвесенесущих потоков. Данный орографический фактор влияет на баланс наносов, путем уноса взвешенного вещества на большие глубины, тем самым приводит к его недостатку для питания пляжей. Данный фактор важно учитывать при оценке динамики взвешенного материала и динамики берегов.

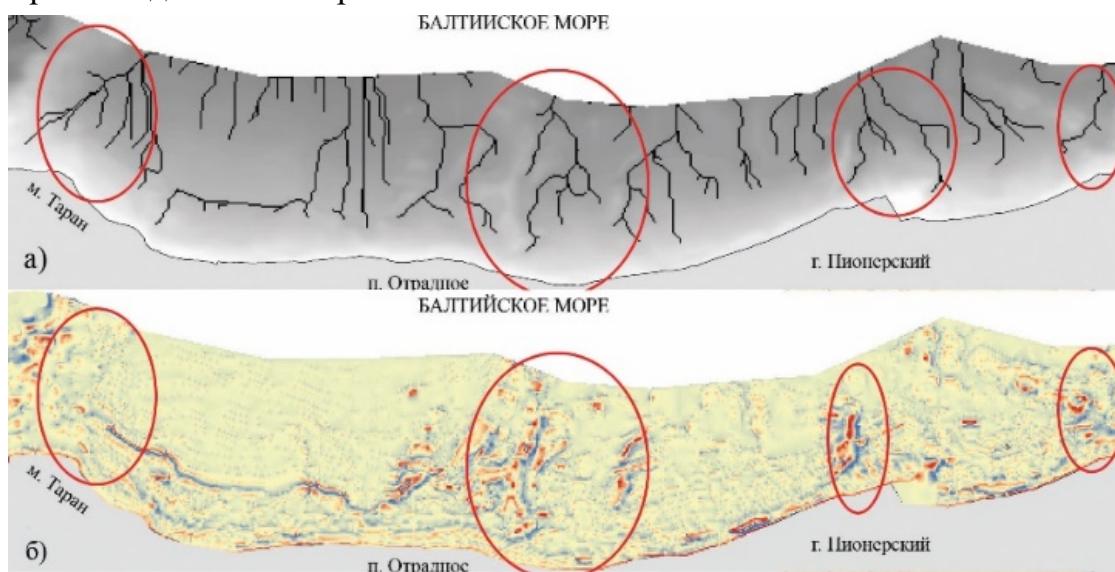


Рис 4. - Траектории наискорейшего спуска (а) и кривизна поверхности (б) для цифровой модели рельефа Светлогорской бухты (от мыса Таран до г. Пионерский). Овалами выделены районы с характерными поперечными положительными и отрицательными формами рельефа.

Классификация участков береговой морфосистемы. Выполнено крупномасштабное районирование береговой морфосистемы по степени потенциального влияния орографической опасности. Положение границ выделяемых районов основывается на результатах расчетов основным морфологических характеристик, а также расчетов траекторий наискорейшего спуска и кривизны поверхности. Первый тип (слабоопасные) соответствует участкам подводного берегового склона, для которых не обнаружено чередование положительных и отрицательных форм рельефа. Для данных районов характерен гладкий рельеф подводного берегового склона. Второй тип (умеренноопасные) характеризуется наличием морфологических неоднородностей на дне, однако в данном районе не наблюдаются явно выраженные морфологические особенности с поперечной к берегу ориентацией, но неоднородности на дне все же формируют несколько потенциальных траекторий для уноса взвешенных наносов. Для третьего типа (высокоопасные) отмечается хорошая корреляция между выделенными формами рельефа и рассчитанными траекториями. Именно в районах третьего типа в штормовых условиях наиболее вероятен вынос больших объемов взвешенных наносов из приурезовой зоны к морской границе береговой зоны (рис.5).

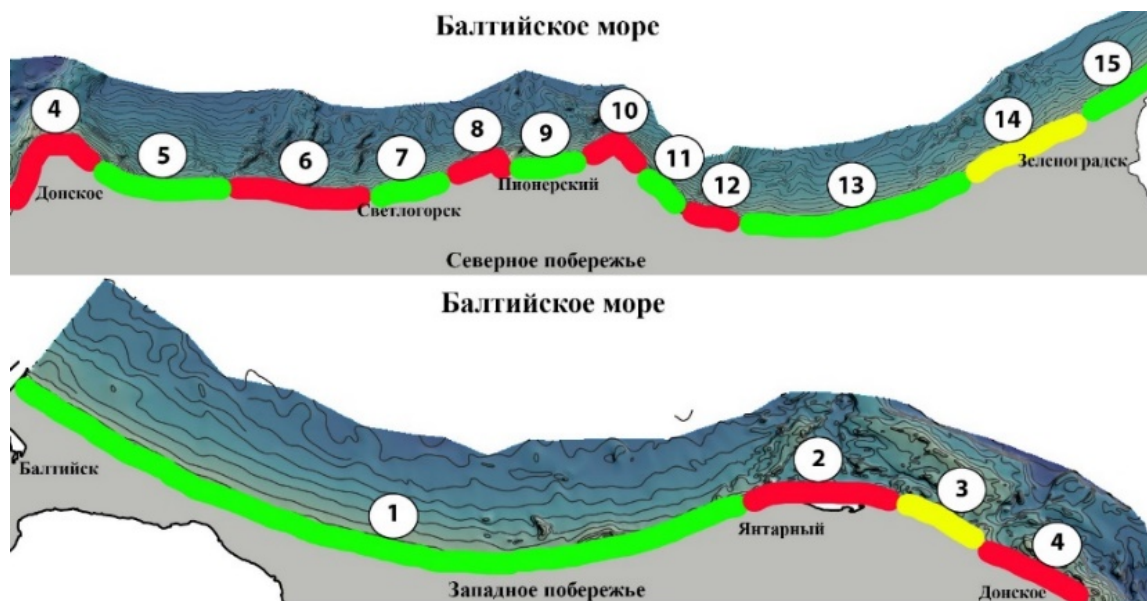


Рис.5 – Классификации морского побережья Калининградского полуострова по степени влияния орографической опасности. Вверху – северное побережье, внизу – западное. Зеленый цвет – слабоопасные, желтый цвет – умеренноопасные, красный цвет – высокоопасные. Цифрами обозначены порядковые номера участков.

3.2. Вероятностная оценка повторяемости фактора орографической опасности.

Расчет вероятностной оценки повторяемости фактора орографической опасности для береговой морфосистемы P_A выполнялось по следующей схеме. Для каждого участка, выделенного при классификации побережья, выполнено нормирование значений рассчитанных изменений уровня моря в пробных точках при различных ветровых сценариях на максимальное значение. Стоит отметить, что ситуации, при которых наблюдалась падение уровня моря, не учитывались. Данная процедура нормирования позволяет оценить степень влияния ветров различных румбов в процентном соотношении от направления ветра, при котором наблюдается максимальный нагона.

Моделирование потенциальных максимальных значений уровня моря в прибрежной зоне выполнено с использованием гидродинамической модели SHYFEM [Umgiesser et al., 2004]. Модельное пространство представляет собой район юго-восточной Балтики, полностью охватывающий побережье Калининградской области, а также глубоководную часть Гданьской впадины (рис. 6).

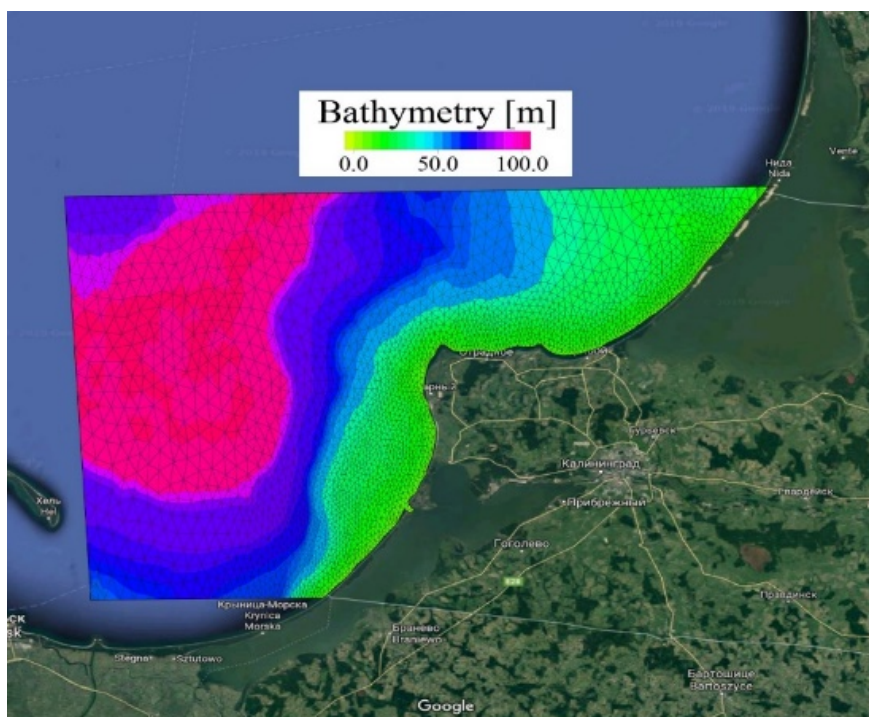


Рис. 6 – Карта-схема модельного пространства юго-восточной Балтики.

Детальное описание режима ветра в исследуемом районе выполнено на основе метеоданных с морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) Д-6 на месторождении Кравцовское в Балтийском море за период с 2006 по 2017 года. В результате получены данные по вероятности повторения сильных (от 10-15 м/с) и штормовых (более 15 м/с) ветров.

Вероятностная оценка повторяемости P_A при сильных ветрах (скорость от 10-15 м/с) выполнялся, как сумма произведений вероятности повторяемости ветра соответствующего румба и скорости на соответствующий данному направлению безразмерный нормированный уровень моря. Данное действие описывается формулой: $P_A = \sum_d (\zeta_{d_norm} * P_{d_w})$, где P_{d_w} – вероятность повторения сильного ветра, имеющим направление d . Данный показатель представляет собой интегральную оценку, которая характеризует вероятность повторяемости ситуации, при которой ветро-волновое воздействие способствуют возникновению фактора орографической опасности для береговой морфосистемы. Данные показатели учитывают различный характер воздействия ветров различных румбов.

Совместный учет результатов численного моделирования и статистического анализа метеоданных для расчета вероятностной оценки

повторяемости P_A фактора орографической опасности показал, что из-за преобладания ветров западных румбов вероятность повторяемости орографической опасности для береговой морфосистемы для участков, находящихся на западном побережье Калининградского полуострова, достигает для сильных и штормовых ветров 9.6% и 2.6% соответственно. Для участков на северном побережье Калининградского полуострова вероятность составила 8.7% и 2.4% соответственно для сильных и штормовых ветров.

3.3. Фактор орографической опасности и морской потенциал приморских территорий.

Рассмотрено влияние фактора орографической опасности на основные отрасли человеческой деятельности, а именно, рекреационные, рыбохозяйственные и строительные (берегозащитные) мероприятия на берегах Калининградского полуострова. Качественный анализ влияния геоэкологической опасности разрушения береговой морфосистемы в условиях шторма, которое оказывает непосредственно влияние на хозяйственную и другие виды деятельности человека на берегах Калининградского полуострова, показал, что практически половина из всех рассмотренных единиц хозяйственной деятельности находятся в опасной зоне влияния фактора орографической опасности.

3.4. Роль гидродинамической неустойчивости Рэля-Тейлора в существовании береговой морфосистемы.

Приведенные качественные физико-географические соображения, позволяют заключить, что эффект неустойчивости Рэля-Тейлора для акваторий без явно выраженных орографических особенностей приводит к относительно равномерному распределению наносов по склону дна. В этом случае взвешенный в воде материал будет распространяться в виде случайного ансамбля плюмов, быстро теряющих свою энергию и носимый материал. Наносы на малых глубинах в дальнейшем могут стать источником для питания пляжей, что является благоприятным фактором для устойчивости существования всей береговой морфосистемы. Наличие же орографических особенностей с кросс-склоновой ориентацией подавляет гидродинамическую неустойчивость и порождает устойчивое среднее течение с кросс-клоновой ориентацией и, автоматически, выносу взвешенного в воде материала из зоны ветро-волнового воздействия. Очевидно, что данный процесс будет приводить к

дефициту материала для питания пляжей и, соответственно, оказывать негативное воздействия на устойчивость существования береговой морфосистемы.

Основные выводы:

1. Комплексный анализ изменчивости параметров береговой морфосистемы Калининградского полуострова подтвердил факт существования орографической опасности для устойчивости ее геоэкологического состояния. Эта опасность проявляется в более интенсивной абразии берега в штормовых условиях в следствии уноса песчаного материала в виде придонных взвесенесущих течений, сфокусированных орографическими особенностями подводного берегового склона, имеющих кросс-склоновую ориентацию.

2. Предложенный в работе подход классификации берега Калининградского полуострова по степени значимости фактора орографической опасности для геоэкологического состояния береговой морфосистемы, основанный на классических методах геоморфологии, позволяет на основе набора данных о рельефе подводного берегового склона определить участки берега потенциально наиболее подверженные разрушению в штормовых условиях в результате уноса взвешенного вещества на большие глубины в виде придонных взвесенесущих течений, тем самым приводя к его недостатку для питания пляжей.

3. Анализ орографических особенностей подводного берегового склона Калининградского полуострова позволил выделить 3 типа участков по степени влияния орографической опасности на геоэкологическое состояние береговой морфосистемы. Первый тип (слабоопасные) соответствует участкам подводного берегового склона, для которых не обнаружено чередование положительных и отрицательных форм рельефа. Для данных районов характерен гладкий рельеф подводного берегового склона. Второй тип (умеренноопасные) характеризуется наличием морфологических неоднородностей на дне, однако в данном районе не наблюдаются явно выраженные морфологические особенности с поперечной к берегу ориентацией, но неоднородности на дне все же формируют несколько потенциальных траекторий для уноса взвешенных наносов. Для третьего типа (высокоопасные) отмечается хорошая корреляция между выделенными формами рельефа и рассчитанными траекториями.

4. Разработан подход к оценке повторяемости орографической опасности для геоэкологического состояния береговой морфосистемы, основанный на

численном моделировании гидродинамического режима в исследуемом районе и статистическом анализе данных, описывающих ветровой режим. Данная вероятностная оценка повторяемости рассмотренной опасности позволяет планировать комплексное управление прибрежной зоной Калининградского полуострова и разрабатывать стратегии развития приморских территорий.

5. Выполнена вероятностная оценка повторяемости орографической опасности для геоэкологического состояния береговой морфосистемы Калининградского полуострова за десятилетний период. Для береговой морфосистемы западного побережья повторяемость составила для сильных (от 10 до 15 м/с) и штормовых ветров (более 15 м/с) 9.6% и 2.6% соответственно. Для береговой морфосистемы северного побережья Калининградского полуострова повторяемость составила 8.7% и 2.4% соответственно.

6. Оценка возможного влияния орографической опасности на потенциал развития приморских территорий показал, что практически все отрасли человеческой деятельности находятся в зонах, попадающие в районы, для которых характерна высокая степень влияния орографической опасности: рекреационные зоны, районы санитарно-курортного лечения, производственные районы и участки берега, на которых ведется интенсивная застройка. Имеется потенциальное влияние на запасы камбалы-тюрбо, через пагубное механическое влияние на икру и личинки в результате уноса взвешенного вещества на большие глубины в штормовых условиях в виде придонных взвесенесущих течений. Берегозащитные сооружения также находятся под негативным влиянием данной опасности, что приводит к более быстрой их деградации и разрушению. Данный факт приводит к загрязнению прибрежной зоны Калининградского полуострова остатками геосинтетических материалов и пластиком различной размерности.

Список публикаций по теме диссертации

В изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых базой Scopus:

1. Килесо А.В., Демидов А.Н., Гриценко В.А. Орографический фактор в формировании вдоль склоновых течений в Юго-Восточной Балтике // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2020. – № 3. – С. 100-107.

2. Kileso A., Gritsenko V., Chernyshkov P., Isachenko I., Burnashov E. Orographic risks of bottom topography and sustainability of the sea coasts of the

Kaliningrad region, Russia // Journal of Environmental Hydrology. – 2017. – Vol. 25. – P. 2.

3. Килесо А. В., Стонт Ж.И. Некоторые аспекты изменчивости уровня Куршского залива (Юго-Восточная Балтика) при различных синоптических ситуациях // Гидрометеорология и экология (Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета). – 2020. – № 61. – С. 494-506. – DOI 10.33933/2074-2762-2020-61-494-506.

Публикации в прочих изданиях:

1. Gritsenko, V.A., A.V. Kileso , V.V. Kortishko , A.V. Shishova. 2010. The Specific Features of the Entrainment and Mixing Processes in the Downslope Density Currents. Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres - 2009. Selected Papers. Ed. Yuli D. Chashechkin, Vasily G. Baydulov. IPM RAS. M., 158-168.

2. Килесо, А.В., В.А. Гриценко. 2011. Численная модель вдольсклонового плотностного течения с вложенной моделью расчета вязкого пограничного слоя. Физические проблемы экологии (экологическая физика): Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. — М.: МАКС Пресс, №17, 181-185.

3. Килесо, А.В., В.А. Гриценко. 2012. Многофакторность расчетного условия на дне для численных моделей придонных плотностных течений. Физические проблемы экологии (экологическая физика): Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. — М.: МАКС Пресс, №18, 165-171.

4. Килесо, А.В. 2012. Многофакторность расчетного условия на дне для численных моделей придонных плотностных течений. Шаг в науку. Вып. 2: Естественные и технические науки: сб. науч. ст. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 19-26.

5. Килесо, А.В., В.А. Гриценко, Н.М. Кащенко. 2013. Простая модель взвешивания и переноса осадочного материала. . Физические проблемы экологии (экологическая физика): Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. — М.: МАКС Пресс, №19, 241-248.

6. Гриценко, В.А., А.В. Килесо. 2013. Исследование особенностей эрозионной деятельности придонных гравитационных течений. Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. 3, с. 13-17.

7. Chubarenko, B., V. Chechko, V. Pilipchuk, E. Bulycheva, A. Kileso, V. Topchaya. 2016. Hydrological and sedimentation conditions in non-tidal lagoon during

ice-coverage – the example of the Vistula Lagoon, the Baltic Sea. Book of abstracts of the 7th European Coastal Lagoons Symposium. Murcia (Spain), 01-04 March 2016. Compobell, Murcia, p. 52-53.

8. Килесо, А.В., В.А. Гриценко. 2017. Орографические риски донной топографии и вдольсклоновые плотностные течения. Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 10-14 апреля 2017 г. [Электронный ресурс]. – Москва: ИО РАН. – Режим доступа: http://www.ocean.ru/component/option,com_docman/task,doc_details/gid,840/Itemid,78/, свободный. ISBN 978-5-9901449-2-7 (РИНЦ)

9. Килесо, А.В., Е.М. Бурнашев. 2017. Орографические риски донной топографии морских берегов Калининградской области. Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Редакционная коллегия: Куижева С.К., Овсянникова Т.А., Беданков М.К., Демина Т.М., Шевякова О.П. Издательство: Индивидуальный предприниматель Кучеренко Вячеслав Олегович. с. 232-234. (РИНЦ)

10. Зуев, О.А., А.В. Килесо, М.Н. Голенко, А.Н. Демидов. 2017. Режим течений в прибрежной зоне Балтийского моря в районе Самбийского полуострова. Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование: MARESEDU - 2017". — ПолиПРЕСС Тверь. (РИНЦ)

11. Килесо, А.В., В.А. Гриценко. 2017. Орографические риски прибрежной зоны моря. Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. V. – М.: ИО РАН. с. 131-136.

12. Килесо, А.В., В.А. Гриценко. 2017. Орографические риски донной топографии для прибрежной зоны моря. Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». Спб.: Аграф +, с. 253-255. (РИНЦ)

13. Килесо А.В., Гриценко В.А. Особенности структуры и динамики прибрежных вдольсклоновых взвесенесущих потоков штормовой природы // Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере МСП-2018 Сборник трудов Международного симпозиума. Институт океанологии

им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Московский университет им. С.Ю. Витте. 2018. С. 180-182. (РИНЦ)

14. Килесо А.В., Гриценко В.А. Орографические риски донной топографии: количественные оценки для прибрежной зоны юго-восточной Балтики // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 2018. С. 344-346.

15. Килесо А.В., Гриценко В.А. Геоэкологическая опасность прибрежной зоны Юго-Восточной Балтики // Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития : труды III Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 16–17 декабря 2019 года. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2019. – С. 440-442.

16. Килесо А.В., Гриценко В.А. Численное моделирование высокоэнергетических придонных взвесенесущих течений штормовой природы // Морские исследования и образование (MARESEDU-2018): Труды VII Международной научно-практической конференции. Сборник, Москва, 19–22 ноября 2018 года. – Москва: ООО "ПолиПРЕСС", 2019. – С. 138-143.

Килесо Александр Владимирович

**ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА НА
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОВОЙ МОРФОСИСТЕМЫ
(НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОГО ПОЛУОСТРОВА)**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать 31.08.2022 г.
Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,5
Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано Полиграфическим центром
Балтийского федерального университета им. И. Канта
236022, г. Калининград, Гайдара, 6