

На правах рукописи

ЗАКИРОВ Руслан Баядитович

**ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВХОДНОГО УЧАСТКА
КАЛИНИНГРАДСКОГО МОРСКОГО КАНАЛА: СТАНОВЛЕНИЕ И
СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ**

Специальность 1.6.21. Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград - 2022

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта»

Научный руководитель: **Чубаренко Борис Валентинович**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прибрежных систем, Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

Научный консультант: **Чечко Владимир Андреевич**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории прибрежных систем, Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

Официальные оппоненты: **Бровко Петр Федорович**, доктор географических наук, профессор кафедры географии и устойчивого развития геосистем, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
Шилин Михаил Борисович, доктор географических наук, заведующий кафедрой экологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет"

Защита состоится «25» ноября 2022 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 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/zakirov-ruslan-bayaditovich//](https://kantiana.ru/postgraduate/dis-list/zakirov-ruslan-bayaditovich/)

Автореферат разослан «__» октября 2022 г

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук

Т.Ю. Кузнецова

Актуальность исследования. Проблема регулирования хозяйственной деятельности в прибрежно-морской зоне в целях устойчивого развития территорий - ключевая для многих разделов геоэкологии [Айбулатов, 2004, 2005; Денисов, 2002]. Для Калининградской области в условиях эксклавноности региона эта проблема приобретает еще и социальный аспект [Болдырев, 1981; Куликов и др., 2012; Гуменюк и др., 2015; Федоров, 2016]. Внедрение и развитие подхода природно-технических систем (далее ПТС) применительно к входному участку Калининградского морского канала (далее *входной участок КМК*) актуально в связи с неминуемым его преобразованием в целях развития транспортной инфраструктуры и оптимизации использования собственных ресурсов Калининградской области в будущем (в условиях возможных ограничений).

Степень разработанности проблемы. Концепция природно-технических систем происходит из системного подхода [Сочава, 1978; Бровко, Лымарев, 1997], продолжает развиваться, формируя различные направления [Исаев, 2016], и пока в научной и технической литературе не существует нормативно закреплённого определения ПТС [Исаев, 2016]. Концепция прибрежных ПТС [Шилин, 2006] активно внедряется в практику геоэкологических оценок при строительстве и эксплуатации современных портовых комплексов и берегозащитных объектов. Если формирование ПТС началось до периода промышленной революции XVIII–XIX, то ее можно характеризовать как исторически сложившуюся, у такой ПТС компоненты техногенной подсистемы представлены историческими сооружениями (отдельные сооружения, памятники архитектуры, города, порты и т.д.) [Бондарик, Ярг, 2015; Пендин, Невеча, 2016]. Применительно к прибрежным ПТС понятие исторически-сложившейся системы подходит для характеристики портовых комплексов и гидротехнических объектов, введенных в эксплуатацию до XVIII века и функционирующих в настоящие дни. Данный подход предполагает учет достигнутого в процессе коэволюции баланса природной и техногенной подсистем как основы для планирования будущих модернизаций [Шилин, 2006; Погребов, 2011; Бондаренко и др, 2013; Федоров, Суздалева, 2014; Суздалева, 2015; Бондаренко и др, 2015]. В качестве примера таких ПТС можно выделить портовые комплексы на Балтийском побережье, их строительство началось задолго до развития теории систем: Клайпедский порт (Литва), порт Свиноустье (Польша), порты Травемюнде и Ванемюнде (Германия) [Kondrat et al., 2021; Musielak et al., 1995].

Исследование посвящено входному участку КМК, хозяйственное освоение которого началось с 1510 г после образования в этом месте пролива - единственной протоки, соединяющей Калининградский залив с Балтийским морем. Пролив обеспечивает поступление в залив морских вод и обратный сток всех вод из залива в море [Лазаренко, Маевский, 1971], и, тем самым, выполняет ключевую роль в формировании водного баланса залива [Chubarenko, Margonski, 2008; Cieśliński, Chlost, 2017]. Кроме того, пролив выполняет важную социально-экономическую функцию - замыкает Калининградский морской канал (КМК) - единственный транспортный водный путь, связывающий порт Калининград с открытым морем. Однако, отсутствие глубин, позволяющих заходить суда с осадкой более 12 м и длиной более 230 м, сдерживают увеличение грузооборота, поэтому расширение и углубление фарватера КМК остается вопросом времени.

Входной участок КМК, как объект техногенного преобразования, на протяжении своей истории служит основой развития морского транспорта [Басс, 2007; Болдырев и др., 2010; Басс, Жиндарев, 2011; Чечко и др., 2018], однако развитие техногенной компоненты в прибрежной зоне нарушило литодинамическое равновесие [Чечко и др., 2008; Бабаков, Чубаренко, 2019].

Входной участок КМК ранее обсуждался в научной литературе в связи с водообменом [Лазаренко, Маевский, 1971], влиянием гидротехнических объектов на вдольбереговые течения [Чечко и др., 2008; Болдырев и др., 2010; Бабаков, Чубаренко, 2019], оценками водного [Cieśliński, Chlost, 2017], седиментационного [Chechko, Blazhchishin, 2002] и геохимического [Богданов и др., 2021] балансов. Но будучи местом сосредоточения хозяйственной деятельности, он никогда не рассматривался как природно-техническая система, хотя подвергается постоянным техногенным преобразованиям с XVII века [Басс, Жиндарев, 2011; Довыденко, 2011].

Объект исследования – входной участок Калининградского морского канала как природно-техническая система.

Предмет – закономерности формирования системы взаимодействия гидро- и литодинамических факторов, структуры современного рельефа дна, степень антропогенных изменений донных отложений.

Цель работы. Определить системообразующие компоненты природно-технической системы входного участка КМК, факторы развития, связи с гидро-

литодинамической обстановкой, оценить ее состояние и предложить варианты оптимизации деятельности.

Для достижения этой цели решались следующие **задачи** (применительно к району исследования в связи с возникновением и развитием ПТС):

1. Охарактеризовать этапы развития природно-технической системы входного участка КМК, выделить пространственные границы.
2. Определить морфологические, гидродинамические и литодинамические особенности.
3. Оценить состояние и объем доступных песчаных отложений.
4. Разработать рекомендации по оптимизации деятельности ПТС.

Методология, материалы и методы. В теоретико-методологическом плане в основу настоящей работы положен системный подход (В. Б. Сочава, Е. Odum, Н. А. Айбулатов, и др.). Для определения связи и отношений между техническими, и природными компонентами ПТС применялись картографические методы, методы гидрографических измерений, геоморфологического анализа, гидрологических измерений, литодинамических измерений, гранулометрического анализа, геохимического анализа, геоэкологического анализа. Использовались специализированные программные средства ESRI ArcGIS 10, PDS Teledyne, Microsoft Excel, Grapher 8.

Автором были систематизированы и обобщены опубликованные и фондовые картографические материалы за 1924-2021 гг.; батиметрические данные лаборатории прибрежных систем Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (АО ИОРАН), ФГУП «Росморпорт» и Navionics Sonar Chart за 2008 – 2019 гг.; материалы натурных измерений течений, эхолотных промеров глубин, материалы пробоотбора, сопутствующие данные об уровне моря во время ситуационных экспедиций 2019-2020 гг.; результаты гранулометрического и геохимического анализов выполнены Центром лабораторного анализа в г. Калининград (ЦЛАТИ) и в лаборатории прибрежных систем АОИОРПН.

Научная новизна

Выделены этапы развития ПТС: *укрепление берегов пролива (1510-1767), строительство входных молов (1768-1887), строительство Морского канала и Гидрогавани (1889-1938), функционирование и модернизация ПТС (1938–наши дни)*; определены зоны взаимодействия компонентов техногенной и природной

подсистем ПТС: площадь зоны влияния в море – 16 км², в Калининградском заливе, включая акваторию пролива и акваторию КМК – 14 км².

Впервые создана цифровая модель донного рельефа акватории ПТС, выявлено неравновесное состояние элементов донного рельефа: рост эрозионной депрессии скоростью 2500 м³/год, рост затопленной нагонной дельты со скоростью не менее 50000 м³/год.

Величина водообмена через пролив установлена с учетом колебаний уровня моря в районе ПТС, коэффициент корреляции между интегральным водообменом и уровнем моря 0.84–0.98.

Движение взвешенных наносов через входной участок КМК осуществляется как при затоках, так и при оттоках, поэтому разница между условиями оттоков и затоков позволяет выразить общий характер седиментообмена: *илистая и очень мелкая песчаная* взвесь преимущественно выносятся из залива в море, а для *мелкого, среднего и крупного* песков взвесеперенос при затоках сохраняется дольше на 2.3%, 0.5% и 0.4% соответственно.

Определены объемы песчаного материала (6 500 000 м³) и качество отложений в затопленной нагонной дельты (чистые), предложены варианты их использования в хозяйственных целях. На основании ранее обсуждаемого варианта оптимизации деятельности ПТС [Чечко и др., 2008], автором предложена и количественно описана схема по использованию изъятых в ходе дноуглубительных работ песчаного материала на нужды берегозащиты (около 30 тыс. м³/год).

Основные защищаемые положения

1. Входной участок Калининградского морского канала с прилегающими акваториями – это исторически-сложившаяся ПТС, в которой с начала XVI в. происходило попеременное изменения соотношения техногенного и природного влияния; выделено 4 этапа развития ПТС: укрепление берегов пролива (1510–1767), строительство входных молов (1768–1887), строительство Морского канала и Гидрогавани (1889–1938), функционирование и модернизация ПТС (1938–н.в.).

2. Водообмен через ПТС может быть достаточно достоверно оценен по локальным колебаниям уровня моря (по принципу близкодействия), для

практического использования предложена линейная связь между кумулятивным водообменом и динамикой уровня (коэффициент корреляции - от 0.84 до 0.98).

3. Качественный песчаный материал в затопленной нагонной дельте может быть использован для развития ПТС, его возобновляемость обеспечивается естественной заносимостью (в большей степени - мелким, в меньшей - средним и крупным материалом).

Практическое значение. В условиях дефицита песчаного материала восполняемый материал затопленной нагонной дельты может представлять интерес для целей берегоукрепления или восстановления пляжей. На основе количественной и качественной оценки объемов песчаного материала предложены рекомендации для пополнения минерально-сырьевой базы региона путем разработки отложений затопленной нагонной дельты (оцениваемый объем 6 500 000 м³, за исследуемый семилетний период он увеличился на 400 000 м³) и рекомендация по использованию объемов дноуглубления в акватории входного участка КМК (объем которого неминуемо возрастет при дальнейшем развитии природно-технической системы) для компенсации (в соответствии с [Чечко и др., 2008]) абразионных процессов на морском побережье Балтийской косы.

Апробация результатов. Основные результаты исследования апробированы на рабочих семинарах лаборатории прибрежных систем АОИОРАН, на конкурсах стендовых докладов молодых ученых в Музее Мирового Океана (г. Калининград) в рамках «Фестиваля науки – 2018» и «Фестиваля науки – 2019», представлены на конференциях: «8th EUROLAG Symposium», Greece, Athens, 19-23.03.2018; IV Всероссийская научная конференция молодых ученых, г. Севастополь, 22- 26 апреля 2019 г.; IV Международная научно - практическая конференция, приуроченная к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г.; VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)»; «9th EUROLAG conference on coastal lagoons and transitional environments», Italy, Venezia, 20-24.01. 2020; «XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования - в практику берегопользования», Калининград, 18-24 апреля 2022 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 2 в изданиях, рекомендованных ВАК по данной специальности, 1 статья в журнале, индексируемом в БД Scopus.

Личный вклад автора. Соискателем определена актуальность исследования, сформулирована цель и обозначены основные задачи. Все основные результаты и выводы, изложенные в работе, диссертантом получены самостоятельно. Планирование и проведение экспедиционных работ, а также все виды анализа (за исключением химического и гранулометрического анализов) и камеральной обработки (за исключением камеральной обработки взвеси), анализ данных и формулировка выводов выполнены автором самостоятельно. Вопросы седиментационного направления решались в контакте с научным консультантом.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Работа соответствует паспорту специальности 1.6.21 Геоэкология пункту 1.11. Геоэкологические аспекты функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем. Пункту 1.13. Динамика, механизм, факторы и закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности и риска, управление риском, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических процессов, инженерная защита территорий, зданий и сооружений.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю к.ф.-м.н. Чубаренко Б.В. за формирование научных взглядов, ценные советы, конструктивную критику, помощь на всех этапах исследования, научному консультанту к.г.-м.н. Чечко В.А. за курирование седиментационного направления, коллегам из лаборатории прибрежных систем и геоэкологии АОИОРАН за предоставленные данные и научное оборудование. Отдельная благодарность коллегам из ФГУП «Росморпорт» за предоставленные данные, коллегам из ООО «Гидрострой» за вдохновение, практические советы и предоставленные возможности для написания работы, волонтерам прибрежных экспедиций за их незаменимую помощь, родным и близким за всеобщую поддержку. Работа частично поддерживалась грантом РФФИ № 19-35-90069\19.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Характеристика природно-технической системы входного участка Калининградского морского канала

1.1. Понятийная база и сокращения. Пояснены используемые понятия: протока между Калининградским заливом и Балтийским морем (Балтийский пролив), Калининградский морской канал (КМК), его входная зона и входные ворота, проход в залив и др.

1.2. Развитие концепции ПТС. Концепция природно-технических систем опирается на системный подход и разработана для изучения взаимодействия между природной и техногенной системами [Сочава, 1978; Бровко, Лымарев, 1997; работы Института географии АН СССР в 60-х годах XX века]. Пока не существует нормативного определения ПТС, но при всем многообразии подходов определения ПТС схожи в своих трактовках [Исаев, 2016]. Теория развития ПТС в прибрежной морской зоне представлена в [Шилин, 2006], широко применяется к создаваемым с нуля ПТС, но не встречаются примеры ее использования при изучении исторически сложившихся прибрежных ПТС.

Если формирование ПТС началось до периода промышленной революции, то ее можно характеризовать как исторически сложившуюся, у которой компоненты техногенной подсистемы представлены историческими сооружениями [Бондарик, Ярг, 2015; Пендин, Невеча, 2016], что подходит для портовых комплексов, введенных в эксплуатацию до XVIII века. Для них компоненты природной подсистемы успевали подстроиться под растущее антропогенное воздействие – они коэволюционировали [Суздалева, 2015].

1.3. Характеристика района исследования. Дано описание Калининградского/Вислинского залива¹, Калининградского морского канала, его входного участка, включающего так называемый «Балтийский пролив» и прямой проход из канала в Калининградский залив. Пролив - это единственная протока, соединяющая залив с Балтийским морем, он выполняет ключевую роль в формировании водного, седиментационного, гидрохимического балансов акватории залива, а также функцию транспортно-логистического коридора для Калининградской области [Лазаренко, Маевский, 1971].

¹ Залив по гидро-морфологической типизации – это эстуарная лагуна [Chubarenko, Margonski, 2008]. Северная (российская) часть залива (56,2 % площади акватории), называется Калининградским заливом, южная (польская) часть – Вислинским заливом.

Дана информация о водообмене через пролив (из моря в залив поступает 18.1 км³/год, а уходит обратно 23.7 км³/год за счет добавления речного стока) и его особенностях [Лазаренко, Маевский, 1971; Chubarenko, Chubarenko, 2002; Szydłowski et al., 2019], которые способствуют выносу различных загрязняющих веществ (тяжёлых металлов, нефтепродуктов, химических соединений [Богданов и др., 2004; 2020; 2021]) и снижению антропогенной нагрузки на всю акваторию залива [Chechko, 2002; Александров, Горбунова, 2012; Чечко и др., 2018].

По оценкам [Chechko, Blazhchishin, 2002; Chechko, 2008; Chechko, Chubarenko, 2016] из моря в залив ежегодно заносится 76.5 тыс. тонн взвеси, а из залива в море выносятся 348.4 тыс. тонн (60–70% – биогенная). Часть потока морских наносов оседает на входном участке КМК, а остальная – откладывается на входе в залив, подпитывая песчаную отмель [Закиров и др., 2021], сложенную преимущественно материалом морского происхождения [Chechko, 2008]. Через пролив происходит миграция биоты [Науменко, 2009], но из-за активной седиментации и непостоянства гидрохимических характеристик донная растительность в районе входного участка КМК развита слабо.

1.4. Исходные данные и методы. Для истории хозяйственного освоения пролива использованы данные работ [Басс, 2006, 2007; Балтийская коса..., 2009; Басс, Жиндарев, 2011; Довыденко, 2011, 2016], функциональных свойств ПТС – монография [Лазаренко и Маевский, 1971] и цикл публикаций сотрудников лаборатории прибрежных систем АО ИОРАН [Чубаренко Б.В., Болдырев В.Л., Бабаков А.Н., Чечко В.А., Бобыкина В. П., и др.], начиная с 1998 г. В работе использовались картографические материалы 1924, 1938, 2021 гг.; их привязка, оцифровка, анализ выполнялись в программных пакетах ГИС Esri ArcGIS 10.0.

1.5. Этапы коэволюции природной и техногенной подсистем. Входной участок КМК можно отнести к ПТС т.к. он является совокупностью природных и техногенных объектов, находящихся в коэволюционной взаимосвязи, начиная с XVII века, что привело к созданию системы, обладающей собственной характеристикой – обеспечение транспортной доступности современной емкости и регулирование энерго- и массообмена между заливом и морем.

В развитии ПТС по совокупности природных и техногенных признаков выделено четыре этапа коэволюции. **Первый этап** (1510-1767 гг.) – вследствие укрепления берегов пролива стабилизирован промывной режим течений, с морской стороны пролива активизировалось образование песчаных банок.

Второй этап (1768-1887 гг.) – в результате строительства молов удалось отвести вдольбереговую поток наносов на большую глубину, но было нарушено литодинамическое равновесие – активизировалась абразия берега южнее молов и аккумуляция севернее, между молами образовалась эрозионная котловина [Басс, 2006; Бурнашев, 2011].

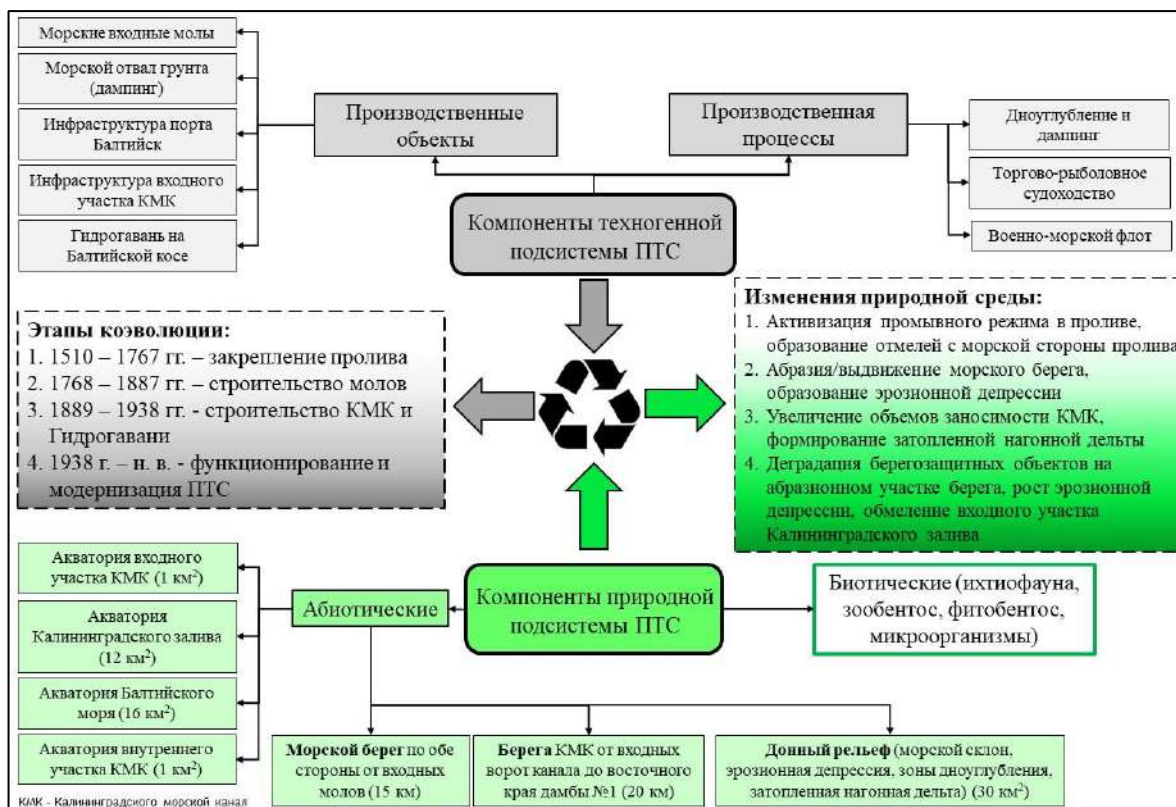


Рисунок 1 – Структура и факторы развития природно-технической системы входного участка Калининградского морского канала (составлено автором)

Третий этап (1768-1887 гг.) – в эксплуатацию введены канал (КМК) и портовая инфраструктура; пролив был углублен до 9 м, что существенно повлияло на темпы его заносимости, стали регулярно проводиться дноуглубительные работы; на примыкающем участке акватории залива активизировался рост песчаной отмели [Чечко, 2008; Закиров, Чубаренко, 2019]; в результате гидротехнических работ на берегах и возведения новых причальных сооружений ПТС приобрела современный вид. **Четвертый этап** (с 1938 г. – наши дни) – активно развивается КМК и его инфраструктура. После 1970 г. входные молы неоднократно ремонтировались, глубина канала в 2005 г была доведена до 10.5 м, гавани на северном побережье КМК вновь реконструированы. В 2006 г фарватер КМК был частично расширен за счет крутизны откоса [Басс, 2007].

Берег на морском абразионном участке (в корне южного мола) за последние 100 лет отступил примерно на 100 м, а площадь размытой суши составляет не менее 150 000 м² [Закиров, Чубаренко, 2022]. Песчаная отмель сегодня практически полностью преграждает проход из канала в акваторию залива, проходные глубины составляют 1.5–2 м. Эрозионная депрессия увеличивает свои размеры, ее глубина достигла 31 м [Закиров и др., 2018; Закиров, Чубаренко, 2019].

1.6. Современное состояние ПТС входного участка КМК. Для структуры ПТС характерна трехуровневая организация (рис. 1). На первом уровне система состоит из природной и техногенной подсистем, разделенных на компоненты, в составе которых выделены элементарные единицы (рис. 1). Природная подсистема включает абиотические и биотические компоненты. Совокупность производственных объектов, включая морской отвал для дампинга материала дноуглубления, обеспечивает берегозащитные функции. В группе производственных процессов самое существенное воздействие на гидродинамические процессы оказывает дноуглубление, в меньшей степени дампинг, тогда как судоходство существенного влияния на баланс массо- и энергообмена не оказывает.

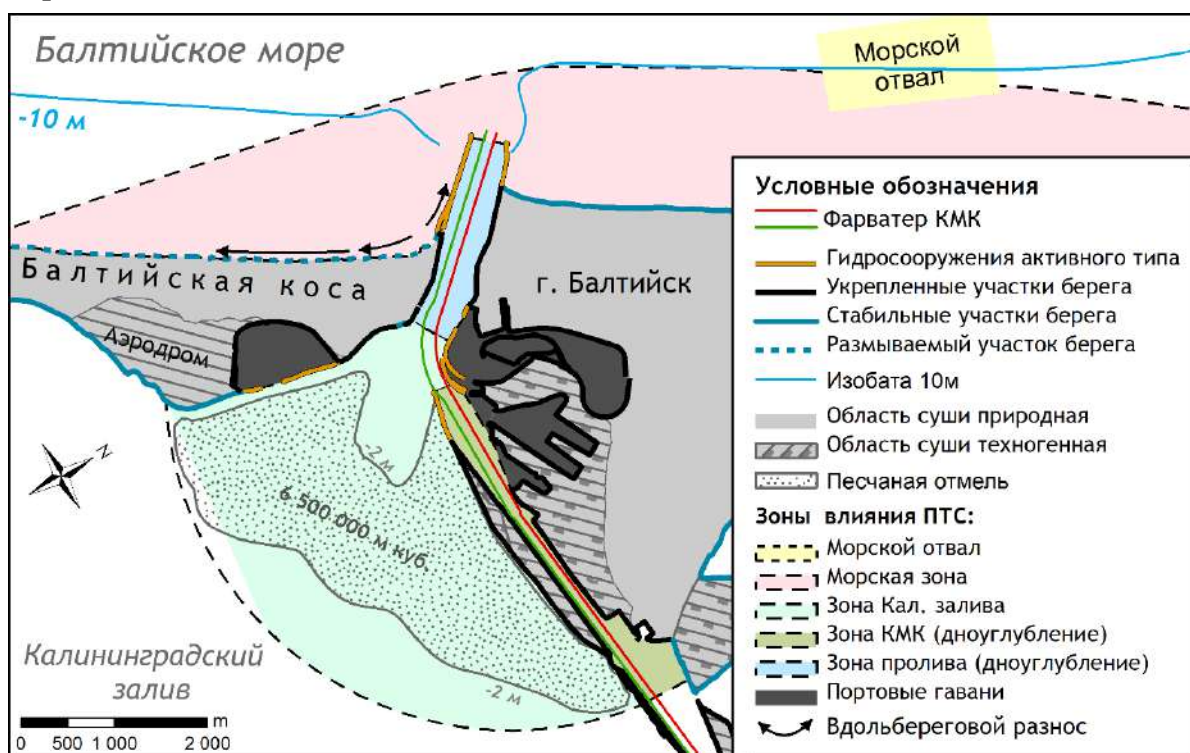


Рисунок 2 – Зоны взаимовлияния между компонентами природной и техногенной подсистем входного участка Калининградского морского канала (составлено автором)

Зоны взаимодействия природной и техногенной подсистем определяют пространство и границы ПТС (рис. 2). В сторону открытого моря в качестве границы принята ширина вдольберегового потока наносов (до 1.5 км), а участок нарушенного берегового равновесия по обе стороны от входных молов отнесен к вдольбереговому влиянию: на юг от молов - 5 км [Болдырев, Бобыкина, 2010; Бобыкина, Карманов, 2009] и на север от молов - до 10 км [Бабаков, Чубаренко, 2019]. В акватории пролива (1 км²), акватории Калининградского залива (12 км²) и акватории внутреннего участка Калининградского морского канала (1 км²) единственное значимое влияние оказывает заносимость, поэтому границы ПТС логично установить по ареалу морских песчаных наносов в заливе (песчаная отмель) и по зонам активного дноуглубления в канале. Таким образом площадь зоны влияния в акватории залива составляет 14 км².

Глава 2. Геоморфологический анализ донного рельефа акватории ПТС

2.1. Исходные данные и методы. В основу цифровой модели донного рельефа (рис. 3) легли батиметрические данные из различных источников: однолучевые измерения на входе в Калининградский залив за 2012 г и 2019 г, многолучевые измерения на входном участке КМК за 2008-2016 гг., для Калининградского залива и Балтийского моря данные получены из открытой библиотеки SAS.Planet (www.sasgis.org). Дополнительно использованы данные архивных материалов ИОРАН на входном участке КМК за 2021 г.

Батиметрические данные предварительно приведены к Балтийской системе высот, обработка выполнялась в программных пакетах ГИС Esri ArcGIS 10.0. Геоморфологический анализ выполнялся с использованием стандартных картографических методов: профилирование и расчет объема. Морфодинамика донного рельефа изучалась с использованием программных инструментов ГИС Esri ArcGIS 10.0 и PDS Teledyne 4.4.3.0: профилирование и вычитание поверхностей. Границы дноуглубления оцифрованы с промерных планшетов «ФГУП Росморпорт» (формат PDF).

Пробоотбор донных осадков выполнен с малого плавсредства в шести точках (рис. 3) ковшом Ван Вина. Лабораторный анализ осадков проводился на базе ЛПС АО ИОРАН, гранулометрический состав определялся в соответствии с классификацией Вентворта: крупный песок (coarse sand, 1.0-0.5 мм), средний песок (medium sand, 0.5-0.25 мм), мелкий песок (fine sand, 0.25-0.125 мм), очень

мелкий песок (very fine sand, 0.125-0.063 мм), крупный ил (coarse silt, 0.063-0.04 мм), средний и мелкий ил (medium, fine silt, < 0.04 мм) [Wentworth, 1922].

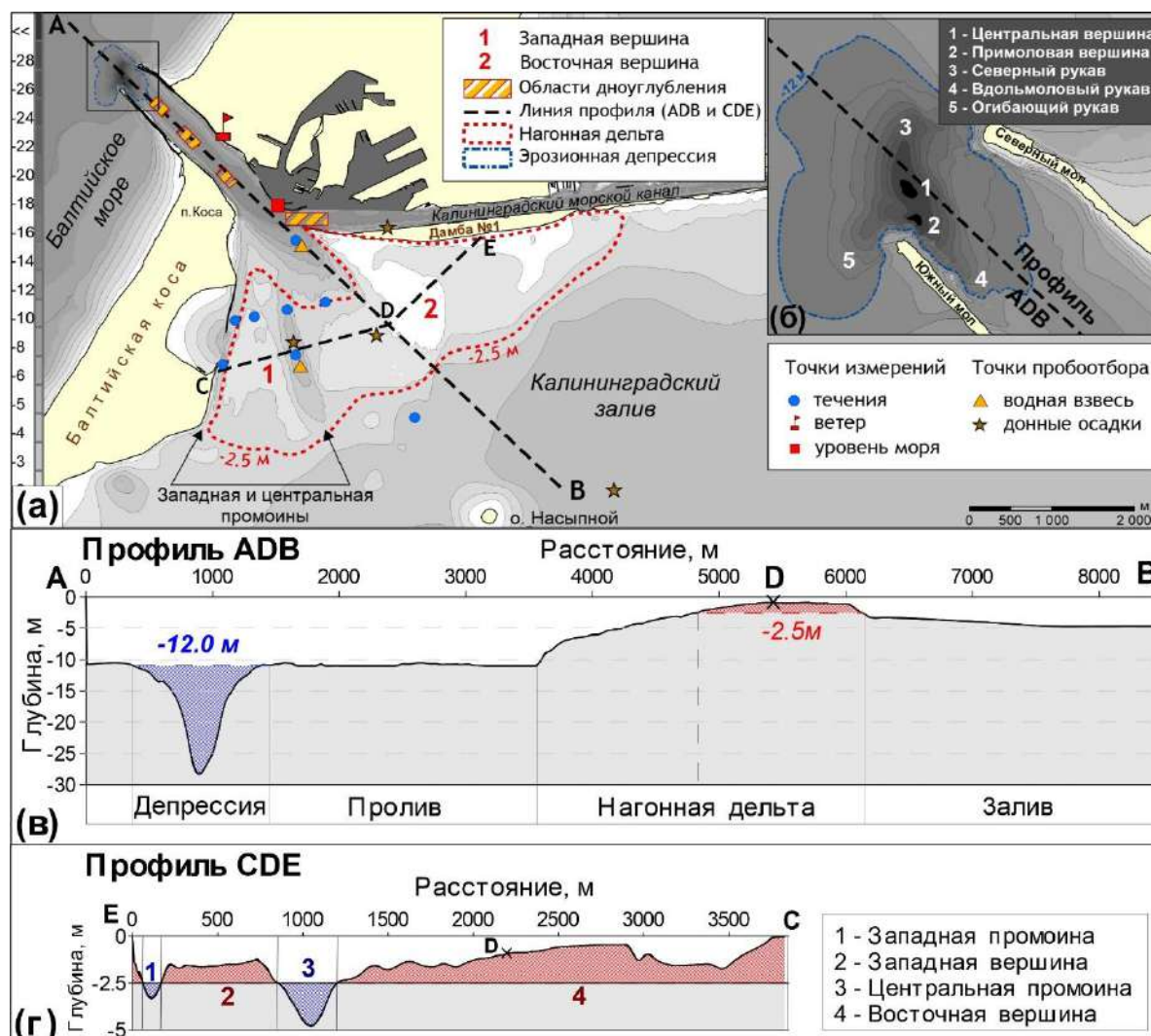


Рисунок 3 – Схема морфологического строения донного рельефа акватории ПТС входного участка КМК: (а) – вид в плане и точки пробоотбора и измерений; (б) – эрозионная депрессия; (в) - профиль ADB и деление акватории ПТС на зоны; (г) - профиль CDE и строение аккумулятивной области нагонной дельты (составил автор)

2.2. Геоморфологическая модель седиментационной обстановки. В Калининградском заливе смешиваются морские и пресные воды, поэтому он относится к эстуарному типу водоемов [Reading, 1978; Chubarenko, Margonski, 2008]. Приток морских вод в залив и, соответственно, отток этих вод обеспечивается колебаниями уровня моря различного генезиса [Chubarenko, Zakirov, 2021]. Вместе с морскими водами в залив заносится морской песок, который и образует песчаную отмель [Chechko, Blazhchishin, 2002; Чечко, 2017;

Закиров, Чубаренко, 2019]. Аналогично типовой модели волнового эстуария эта песчаная отмель характеризуется, как нагонная дельта (по аналогии с приливной, согласно [Reading et al., 1978; Hayes, 1979]).

2.3. *Эрозионная депрессия.* образовалась после строительства выдвинутых в море оградительных молов в XIII веке, ее очертания описываются изобатой 12 м, она имеет вытянутую форму, пересекает фарватер КМК и примыкает к оголовку южного мола. За 2008-2016 гг. объем депрессии плавно увеличивался, в среднем за рассматриваемый период суммарный прирост объема составил 2500 м³/год.

2.4. *Пролив.* С регулярностью один раз в год здесь проводятся дноуглубительные работы, заносимость входного участка КМК составляла 27 000 м³/год (в 2008-2016 гг., «ФГУП Росморпорт»). Поле рифелей в проливе входного участка КМК свидетельствует об активном движении донных наносов.

2.5. *Затопленная нагонная дельта* расположена на входе в залив, частично перекрывает прямой судоходный проход из залива в море (рис. 3). Изобатой 2.5 м в её теле выделена аккумулятивная и эрозионная области. Расчетный объем аккумулятивной области нагонной дельты (объем выше изобаты 2.5 м) составляет 6 500 000 м³. Сравнительный анализ ЦМР по данным 2012 и 2019 гг. показал ее увеличение не менее чем на 400 000 м³, что эквивалентно примерно 55 000 м³/год.

2.6. *Гранулометрический состав донных осадков.* По составу донные осадки в пределах акватории ПТС неоднородны, большая доля состава представлена очень мелким, мелким и средним песками. В глубине акватории залива увеличивается содержание илистого материала, а в ограниченной дамбой №1 акватории КМК (рис. 3) донные осадки состоят из мелкого и очень мелкого песка с незначительным содержанием среднего. Преобладание средних и мелких песков в отложениях нагонной дельты (рис. 3) свидетельствует о том, что она подпитывается преимущественно этими фракциями.

Глава 3. Изучение гидро-литодинамических условий движения взвешенных наносов через входной участок КМК

3.1. *Исходные данные и методы.* Течения измерялись инклинометрическими датчиками скорости, разработанными для измерения придонных течений в диапазоне скоростей 0.03–0.56 м/с [Пака и др., 2019], в 4 этапа: зимняя постановка 24.12.2019 – 13.02.2020 (51 сутки), весенняя постановка 17.03.2020 – 21.04.2020 (35 суток), калибровочная постановка 14.05.2020 –

22.05.2020 (8 суток), летняя постанова 28.06.2020 – 02.08.2020 (35 суток). Данные осреднялись с шагом 10 мин для расчета расходов (заток – положительные, отток – отрицательные) и результирующего (кумулятивного) водообмена. Данные по уровню моря были получены с автоматического мареографа в Калининградском морском канале (рис. 3).

Условные пороги скорости, при которых возникает последовательность фаз «взмучивание–перенос–седиментация» (рис. 4) были получены из диаграммы Хюльстрема [Hjulström, 1935, 1939] для каждой фракции взвеси. Длительность переноса для каждой фракции выражалась в % от общей продолжительности оттоков и заток и складывалась из длительностей фаз взмучивания и переноса (неподкреплённые взмучиванием фазы переноса не учитывались).

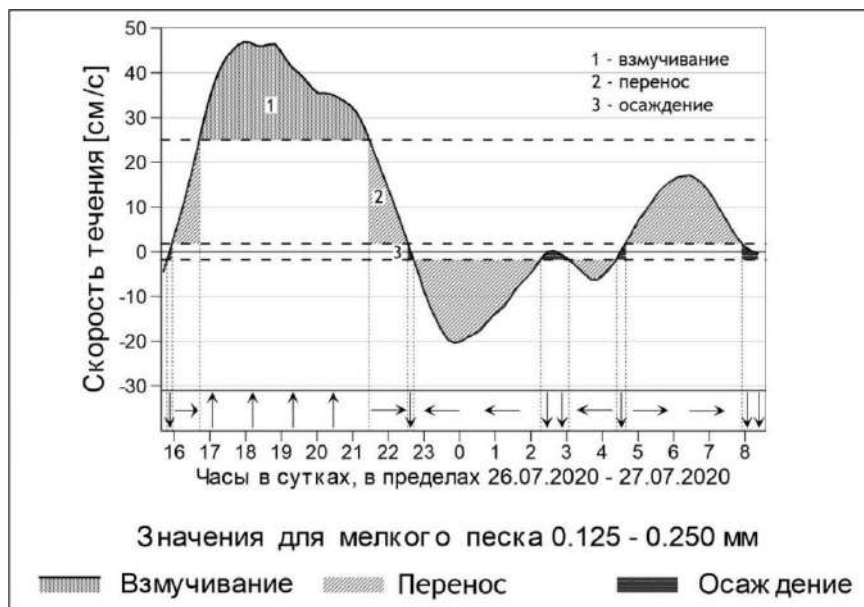


Рисунок 4 – Принципиальная иллюстрация выделения фаз (стрелки внизу) потенциального взмучивания (1), транспорта (2) и осаждения (3) в зависимости от скорости течения (приток – положительные значения, отток – отрицательные). Пороги взмучивания и осаждения (пунктир) даны для фракции размерности 0.125-0.250 мм (мелкий песок)

В соответствии с [Анцыферов, 1987; Lund-Hansen, Peterson, 1999], проведен отбор взвешенных наносов наносонакопителями для горизонтальных и вертикальных потоков взвеси («банки» и «стаканы», на горизонтах 40, 100, 150, 200 см и 40, 100, 150, 200 см от дна соответственно). Гранулометрический состав определялся по классификации Вентворта [Wentworth, 1922] в АО ИОРАН.

3.2. *Скорость и ориентация течений.* В районе нагонной дельты течения подчиняются режимным особенностям водообмена залива с морем, поэтому были

ориентированы двунаправленно - на приток и отток (диапазон $\pm 5-30^\circ$) и изменялись синхронно с коэффициентом корреляции от 0.92 до 0.98). За пределами нагонной дельты течения были ориентированы в соответствии с ветром и подчинялись внутренней циркуляции вод в акватории залива.

3.3. *Водообмен через акваторию ПТС* (пропускная способность ПТС) в сезонном масштабе монотонно уменьшался от зимнего «штормового сезона» к «летнему затишью», отток всегда превышал заток из-за стока рек. Зимой за 17 пар актов притока–оттока из моря в залив поступило примерно 642 млн. м³, а убыло из залива в море 662 млн. м³. Весной за 25 пар актов притока–оттока в залив поступило 810 млн.м³, а убыло 960 млн. м³. Летом за 39 пар актов притока–оттока в залив поступило 850 млн. м³, а убыло 766 млн. м³.

3.4. *Влияние уровня моря на режим водообмена.* Измерения подтвердили гипотезу, что водообмен между заливом и морем регулируется колебаниями уровня моря [Chubarenko, Chubarenko, 2002b]. Из-за инерционности процессов средняя задержка между падением уровня моря и началом оттока составляет от 3 до 5 часов, а между моментом подъема уровня моря и началом притока составляет от 3 до 9 часов, таким образом, система легче стремится к естественному состоянию оттока, чем реагировать на установление притока.

3.5. *Влияние уровня моря на кумулятивный объем водообмена.* Между изменчивостью кумулятивного водообмена и динамикой уровня моря зафиксирована надежная линейная зависимость, коэффициенты корреляций составили от 0.84 до 0.98 (рис. 5), коэффициенты детерминации для линейной и квадратичной аппроксимации между ними также достаточно высоки – от 0.78 до 0.8.

3.6. *Поток взвешенных наносов.* Максимально взвесь накапливалась на горизонте 40 см и уменьшалась в пределах 25% до горизонта 200 см, что говорит о слабой вертикальной стратификации потока взвешенных наносов в пределах 2-метрового водного слоя. В этом слое в районе нагонной дельты горизонтальным (вертикальным) водным потоком переносилось 55-61% (40%) илистого материала, 34-39% (44%) очень мелкого песка, 4-8% (16%) мелкого песка. Содержание илистой фракции в морских отложения незначительно [Чечко и др., 2008], поэтому очевидно, что эта фракция исключительно выносилась из залива в море. Очень мелкие и мелкие пески широко распространены как в море, так и в

заливе [Chechko, 2008], их накопление в наносоуловителях могло обеспечиваться как притоком, так и оттоком.

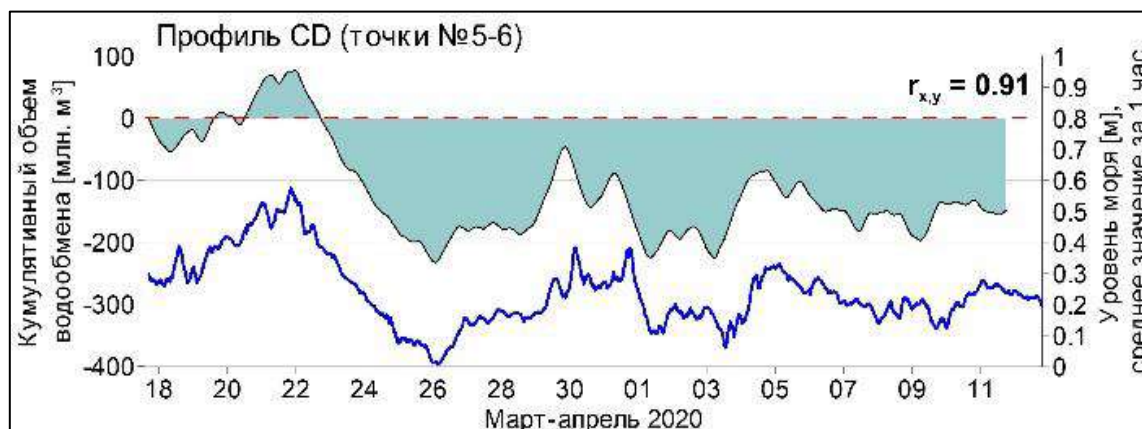


Рисунок 5 – Водообмен между Калининградским заливом и Балтийским морем за период 18.03.2020 – 12.04.2020 (положительный – приток, отрицательный – отток, теневая заливка) и колебания уровня моря на входном участке КМК

3.7. *Оценки времен переноса взвеси различных фракций.* Движение взвешенных наносов через акваторию ПТС характеризуется суммой и разностью длительностей потенциального взвесепереноса, реализовавшихся при притоке и оттоке. Суммарно за все три периода измерений (73 суток), условия переноса илистого материала и очень мелкого песка дольше сохранялись во время актов оттока на 1.8% и 1.9%, а перенос мелкого, среднего и крупного песков – во время актов притока (на 2.3%, на 0.5%, 0.4% соответственно). А, значит, нагонная дельта в большей степени подпитывалась мелким песком, в меньшей – средним и крупным песком.

Нагонная дельта испытывает небольшой прирост [Закиров, Чубаренко, 2019], но сегодняшняя скорость прироста мала, чтобы обеспечить объем дельты, который существует в настоящее время. Её рост явно был не равномерен во времени, и в настоящий момент регулярное дноуглубления сдерживает развитие дельты – основной поток морских песчаных наносов перехватывается дноуглублением еще на подступах к дельте, как к зоне конечного депонирования.

Глава 4. Разработка рекомендаций по хозяйственному освоению песчаных запасов

4.1. *Исходные данные и методы.* В данном разделе использованы материалы пробоотбора (рис. 3). Геохимический анализ проводился центром лабораторного анализа и технических измерений по Калининградской области (ЦЛАТИ). Определялось содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов. Для

контрольной точки (в центре дельты) определялось содержание опасных веществ. Распределение загрязняющих веществ в отложениях нагонной дельты оценивалось по отношению к предполагаемому источнику загрязнения – отложениям акватории залива и акватории КМК. Оценка загрязненности выполнялась по региональному нормативу «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга».

Дополнительно, гранулометрический состав отложений нагонной дельты определялся по десятичной гранулометрической шкале ситовым методом: крупный гравий (5.0 - 10.0 мм); мелкий гравий (2.0 - 5.0 мм); грубый песок (1.0 до 2.0 мм); крупный песок (0.50 - 1.0 мм); средний песок (0.25 - 0.50 мм); мелкий песок (0.10 - 0.25 мм); группа частиц < 0.10 мм.

4.2. Загрязненность осадков. Отмечено уменьшение концентраций цинка (Zn), мышьяка (As), меди (Cu), ртути (Hg), хрома (Cr) и нефтепродуктов по направлению из залива в море. Содержание кадмия (Cd), никеля (Ni) и свинца (Pb) в осадках нагонной дельты соответствует естественному фону. Общее содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов во всех пробах находится в допустимых пределах. Содержание опасных веществ в контрольной точке находится в пределах значений целевого уровня.

4.3. Схема хозяйственного освоения песчаных запасов. На региональном уровне, в строительной индустрии и берегозащите, природный песок – это самый востребованный материал [Загородных, 2005, 2008]. Помимо этого, для решения вопросов берегозащиты необходим определенный по крупности и составу песок, который невозможно найти в чистом виде на суше [Ялтанец, 2011]. В связи с этим, автором доработана современная схема утилизации материала после дноуглубления и дополнительно предложена схема использования отложений нагонной дельты в хозяйственных целях.

По данным [Vobukina et. al., 2018] морской пляж Балтийской косы (в корне южного мола) содержит до 40% крупного песка (0.50–1.0 мм), более 40% среднего песка (0.25–0.50 мм) и около 10% мелкого песка (0.1–0.25 мм). По результатам анализа мелкий, средний и крупный пески нагонной дельты потенциально пригодны для намыва на пляж в корне южного мола.

С целью компенсации негативных литодинамических процессов на абразионном участке берега автором предлагается направить для намыва пляжа на морской стороне косы (рис. 2) объемы песка, которые перехватываются в

результате дноуглубления в канале и КМК. В основу этой рекомендации лежит ранее предлагаемый сотрудниками АОИОРАН способ рефулирования песка прямиком в основание южного мола [Чечко и др., 2008]. Материал затопленной нагонной дельты предлагается добывать гидромеханизированными способами и временно складировать на еще не освоенных площадях северного берега КМК, либо использовать в целях берегозащиты.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. ПТС входного участка КМК исторически формировалась с начала XVI в. по XX вв. путем поочередного введения в эксплуатацию гидротехнических объектов с попеременным нарастанием межсистемных связей между компонентами антропогенной и природной подсистем. По совокупности природных и техногенных признаков в развитии ПТС выделено четыре этапа коэволюции. На первом этапе закрепление берегов пролива (1510-1767 гг.) спровоцировало усиление промывного режима, углубление пролива с 3 до 7 м, образование песчаных банок с морской стороны протоки. На втором этапе строительство входных молов (1768-1887 гг.) нарушило литодинамическое равновесие морского берега, активизировалась береговая абразия южнее молов и аккумуляция севернее; на третьем этапе введены в эксплуатацию Морской канал и Гидрогавань (1889-1938 гг.), входной участок КМК за время третьего этапа принял современный вид, пролив был искусственно углублен до 9м, в связи с чем усилилась заносимость, активизировался рост песчаной отмели в заливе. На четвертом этапе (с 1938 г – наши дни) происходит модернизация ПТС, развиваются инфраструктура Морского канала (входные молы, портовые терминалы и внутренние гавани, подходы к ним).

2. Главная задача ПТС входного участка КМК - обеспечение порта Калининград транспортной доступностью современной емкости, но при этом она еще выполняет регуляторные функции для экосистемы всего Калининградского залива – регулирует энерго- и массообмен между заливом и морем. В качестве управляющего фактора в составе ПТС выделено дноуглубление, благодаря которому обеспечивается функционирование КМК и регулируются экосистемные параметры сопредельных акваторий. Современные границы ПТС выражаются зонами взаимодействия ее технической и природной подсистем: морская – 16 км²,

заливная – 14 км², исходя из этого общая площадь ПТС входного участка КМК составляет 30 км².

3. Нагонная дельта, аналогично приливной [Hayes, 1979], сформировалась при взаимодействии входных потоков пролива с вдольбереговым потоком взвешенных наносов. Она служит зоной конечного депонирования для морского песчаного материала, ее отложения состоят из мелкого (40-85%) и среднего (4-51%) песка с низким содержанием крупного (>1%), исходя из этого она подпитывается преимущественно этими фракциями.

4. За исследуемый 9-летний период (2008-2016 гг.) эрозионная депрессия увеличивалась в объеме со скоростью 2500 м³/год, на 2016 г. ее объем (ниже изобаты 12 м) составлял 1 130 000 м³. Поле рифелей на входном участке КМК не исчезает в течении года, изменяется только положение гребней. Нагонная дельта за исследуемый 7 летний период (2012 – 2019 гг.) прибавила не менее 400 000 м³ (+15 см на площади промера 2.8 км²).

5. Обмен массой и энергией между заливом и морем определяется колебаниями уровня моря (коэффициенты корреляций от 0.84 до 0.98), для оценки интенсивности водообмена (м³/с) с хорошей точностью можно использовать временную серию колебаний уровня моря на входном участке КМК (см. формулы 1, 2).

6. Движение взвешенных наносов через входной участок КМК осуществляется как при затоках, так и при оттоках. По сути, она является в большей степени транзитной системой, только разница в условиях при оттоках и затоках позволяет предположить общий характер седиментообмена. Илистая и мелкая песчаная взвесь преимущественно выносятся из залива в море, а мелкая, средняя и крупная песчаные фракции наоборот, заносятся в залив.

7. Инструментально зафиксировано, что в сезонных условиях «летнего затишья» над нагонной дельтой водным потоком переносилась илистая, *очень мелкая* и *мелкая песчаная взвесь*, отсутствие переноса *среднего* песка указывает на кратковременность процесса восполнения нагонной дельты этой размерностью.

8. Содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов и опасных веществ в отложениях аккумулятивной области нагонной дельты не превышают допустимых значений, поэтому они считаются чистыми и могут без ограничений

использоваться для намыва территорий, отвала в водные объекты и в других хозяйственных целях.

9. Материал в пределах нагонной дельты по своему гранулометрическому составу соответствует составу пляжных наносов [Bobykina et. al. 2016], поэтому может использоваться при гидростроительстве и защите берега – современный объем нагонной дельты (естественно восполняемой аккумулятивной области) оценивается в 6 500 000 м³ (за исследуемый 7 летний период он увеличился на 400 000 м³).

10. Ныне существующую технологическую цепочку по утилизации чистого материала дноуглубления (объем которого неминуемо будет возрастать при дальнейшем развитии природно-технической системы входного участка КМК) целесообразно пересмотреть с учетом возможной компенсации абразионных процессов на морском побережье Балтийской косы в соответствии с предложениями АО ИОРАН [Чечко и др., 2008].

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Закиров Р. Б., Чубаренко Б. В., Сологуб С. П., Шушарин А. В. Динамика эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив // Известия Иркутского государственного университета. Серия: науки о Земле. – №26. – 2018.– С. 46-59.

2. Chubarenko B., Zakirov R. Water exchange of nontidal estuarine coastal lagoon with the sea – example of the Vistula Lagoon (Baltic Sea) // J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.– 2021, 147(4).– 05021005. DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000633. (индексируется в Scopus)

3. Закиров Р. Б., Чубаренко Б. В. Входной участок Калининградского залива как природно-техническая система // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 1. – С. 48-59. – DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.48.59>

Публикации в прочих изданиях

1. Chubarenko B., Zhelezova E., Zakirov R, Dvoeglazova N. Fingerprints of water exchange between the non-tidal lagoon and the sea in the ice coverage and inlet morphology. // Book of Abstracts of «8th EUROLAG Symposium», Greece, Athens, 19-23.03.2018. – Athens: Hellenic Centre for Marine Research, 2018. – P.24.

2. Закиров Р. Б., Чубаренко Б. В. Морфометрические характеристики подводного песчаного бара на входе в Калининградский залив как индикаторы гидродинамической структуры водообмена залива с морем. // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной

конференции молодых ученых, г. Севастополь, 22- 26 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]. – Севастополь: ФГБУН МГИ, 2019. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный. – С. 276-278.

3. Закиров Р.Б., Салаватова Л. И., Чубаренко Б.В. Поступление осадочного материала в Калининградский/Вислинский залив Балтийского моря за счет водообмена. // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов IV Междунар. науч. – практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн ун-т; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест: БрГУ, 2019. – Ч. 1. (299 с.) – С. 153-156.

4. Чечко В.А., Закиров Р.Б., Топчая В.Ю. Влияние антропогенного фактора на динамику донных осадков Калининградского залива. // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А.К. Карабанов, М.А. Богдасаров, А.А. Волчек. – Брест: БрГУ, 2019. – Ч.1. (299 с.)– С. 185-189.

5. Салаватова Л.И., Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Степанова Н.Б. Деформация дна на входном участке Вислинского залива за 2012-2019 гг. // Труды VIII Междунар. научно-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)». Том I(III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020 (296 с.). – С. 195-199. ISBN 978-5-6042986-0-2.

6. Zakirov R., Chubarenko B., Domnin D., Salavatova L., Mazur A., Borisov M., Stepanova N. Inflow and outflow currents and related sediment transport in the inlet of the Vistula lagoon by results of in situ measurements // Book of Abstracts of «9th EUROLAG conference on coastal lagoons and transitional environments», Italy, Venice, 20-24.01.2020.– Venice, 2020.– P. 119.– ISBN 9788889405338

7. Закиров Р.Б., Чубаренко Б.В., Чечко В.А. Геоэкологическая оценка песчаных отложений бара на входе в Калининградский-Вислинский залив. / Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 8(110). Ч1. – С. 192-198. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.110.8.032>

Закиров Руслан Баядитович

**ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВХОДНОГО УЧАСТКА
КАЛИНИНГРАДСКОГО МОРСКОГО КАНАЛА: СТАНОВЛЕНИЕ И
СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать 22.09.2022 г.
Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,5
Тираж 100 экз. Заказ 96

Отпечатано Полиграфическим центром
Балтийского федерального университета им. И. Канта
236001, г. Калининград, Гайдара, 6