

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки



Института водных проблем
Российской академии наук

В.О. Полянин

МП

«31» июля 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН) на
диссертационную работу Назировой Ксении Равильевны
«Пространственно-временная изменчивость плюмов речных и лагунных вод по
спутниковым данным и синхронным натурным измерениям», представленную на
соискание ученой степени кандидата географических наук
по специальности 1.6.17 – Океанология

Актуальность темы исследования

Диссертация К.Р. Назировой является актуальным исследованием, поскольку речной сток играет важную роль в физических, химических и биологических процессах в шельфовых зонах, являясь основным источником поступления в море взвешенных и растворённых терригенных и биогенных веществ, а также антропогенного загрязнения. Эти вещества оказывают значительное и во многих случаях негативное воздействие на прибрежную экосистему, включая продуктивность фитопланктона, перенос загрязняющих веществ в прибрежную зону, эрозию берегов, образование искусственных пляжей, динамику питательных веществ и пр. Речные и лагунные плюмы, которым посвящена диссертационная работа, это прилежащие к устью реки и морскому проливу мезомасштабные структуры, выделяющиеся пониженной солёностью и отличной от окружающей морской воды температурой, а также, как правило, повышенной мутностью, высоким содержанием взвеси и растворённой органики.

Основное внимание в диссертационной работе уделяется трём районам: приустьевая зона р. Мзымты (Чёрное море), вынос лагунных вод из Калининградского залива (Балтийское море) и приустьевые зоны рек Терек и Сулак (Каспийское море). Основой работы является большой объем используемых спутниковых сцен для исследуемых объектов, сопровождаемый детальными полевыми синхронными подспутниковыми исследованиями в течение ряда лет для этих ключевых регионов. Несмотря на то, что спутниковые методы исследования районов речных плюмов широко используются во всём мире, степень изученности пространственно-временной изменчивости плюмов в перечисленных районах крайне мала, особенно с точки зрения получения количественной оценки мутности и содержания взвешенного вещества в приповерхностном слое. Следует отметить, что для района выноса лагунных вод из Калининградского залива регулярного спутникового мониторинга не проводилось. В работе К.Р. Назировой для Калининградского залива за период с января 2014 г. по декабрь 2020 г. обработаны 762 спутниковых сцены высокого пространственного разрешения. Спутниковый мониторинг плюмов рек Терек и Сулак, а тем более измерения *in situ* в этих районах, ранее не проводились. Для рек Терек и Сулак за период мониторинга, представленного в работе, было обработано и проанализировано 1163 спутниковых изображений.

Научные задачи, сформулированные в работе, заключаются в необходимости совершенствования методов проведения судовых и дистанционных океанологических наблюдений, их обработки и анализа с целью получения пространственно-временных и количественных характеристик плумов на основе совместного анализа данных дистанционного зондирования Земли и синхронных подспутниковых измерений.

Целью работы являлось исследование пространственно-временной изменчивости речного плума рек Мзымта, Терек, Сулак и выноса вод из Калининградского залива в Гданьский залив по спутниковым оптическим данным высокого пространственного разрешения и синхронным измерениям *in situ*.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Восстановление и оценка трёхмерной структуры плумов речных и лагунных вод на основе серии подспутниковых *in situ* измерений.
2. Выявление закономерности влияния метеорологических процессов на распространение лагунных и речных вод в Гданьском заливе, в северо-восточной части Чёрного моря и в северо-западной части Каспийского моря.
3. Выявление основных особенностей межгодовой и сезонной изменчивости поверхностных проявлений плумов лагунных и речных вод на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения за период с 2014 по 2023 г.
4. Верификация и сравнительный анализ полученных количественных данных о концентрации взвешенного вещества и мутности морской воды в прибрежных районах исследуемых полигонов на основе судовых и оптических спутниковых измерений.
5. Установление границы применимости стандартных спутниковых алгоритмов зависимости от значений мутности в исследуемых районах.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивалась: использованием современного высокоточного сертифицированного океанологического оборудования для получения натурных данных; использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения, обрабатываемых с применением современных сертифицированных алгоритмов; хорошей сопоставимостью результатов натурных измерений и спутниковых наблюдений; соответствием полученных результатов, имеющимся литературным данным.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Масштаб выполненных исследований, сочетание стационарных и дистанционных методов определяют сильную сторону работы, достоверность полученных результатов и выводов. На основе обработки сотен спутниковых снимков автором выявлены основные межгодовые и сезонные морфометрические характеристики плумов и их поверхностные проявления, на основе полевых данных проведен анализ трехмерной структуры плумов, проведена верификация результатов дешифрирования спутниковых съемок.

Впервые

1. На основе комплексного анализа данных натурных измерений и спутниковых наблюдений получены характеристики вертикального и горизонтального распределения основных параметров плума лагунных вод в зоне выноса из Калининградского залива в Гданьский залив и плумов рек Сулак и Терек в летний период: температуры, солёности, концентрации взвешенного вещества и хлорофилла.
2. В результате спутникового мониторинга за период с января 2014 по декабрь 2020 г. были выявлены основные межгодовые и сезонные морфометрические характеристики плума лагунных вод Калининградского залива, получена информация о межгодовой и сезонной изменчивости его поверхностных проявлений плума.
3. Установлены закономерности влияния ветрового поля на форму плумов рек Терек и Сулак, а также на плум выноса вод из Калининградского залива.

5. Для плумов рек Мзымта, Терек и Сулак получены количественные значения мутности и концентрации взвешенного вещества на основе спутниковых оптических данных высокого пространственного разрешения при использовании четырёх различных

алгоритмов. Проведена их валидация и установлены границы их применимости в зависимости от значений мутности.

Научная и практическая значимость результатов

Масштаб выполненных исследований, сочетание стационарных и дистанционных методов определяют сильную сторону работы, достоверность полученных результатов и выводов. На основе обработки сотен спутниковых снимков автором выявлены основные межгодовые и сезонные морфометрические характеристики плюмов и их поверхностные проявления, на основе полевых данных проведен анализ трехмерной структуры плюмов, проведена верификация результатов дешифрирования спутниковых съемок. Научная и практическая значимость результатов определяется их вкладом в экологическую оценку состояния прибрежной зоны для прогнозирования, предотвращения и ликвидации её загрязнения, поскольку именно с материковым стоком связаны такие актуальные вопросы, как пространственное распределение и динамика взвешенного вещества, размыв берегов, искусственное пляжеобразование, антропогенное загрязнение моря и т. д.

Общая характеристика диссертационной работы.

Диссертационная работа К.Р. Назировой состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Объем работы составляет 213 страниц. Текст диссертации содержит 86 рисунков и 15 таблиц. Библиографический список включает в себя 161 наименование, в том числе 70 на иностранных языках. В приложениях содержится 13 таблиц и 27 иллюстраций.

Во введении дано обоснование актуальности темы исследования и степень её разработанности, определена основная цель исследования, перечислены поставленные задачи, основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов, их научная и практическая значимость. Представлены личный вклад автора, апробация результатов исследования и список публикаций по теме диссертации.

Глава 1 посвящена обзору современного состояния изученности проблемы распространения речных и лагунных вод в море. Приводятся общие сведения о предмете исследования. Представлен обзор основных результатов предыдущих исследований по восстановлению количественных характеристик концентрации взвешенного вещества в приустьевых районах Мирового океана на основе спутниковых данных. Дан обзор современного состояния изученности районов исследования в Чёрном, Балтийском и Каспийском морях.

В главе 2 дано описание материалов и методов, применявшихся при выполнении диссертационной работы, общая информация об экспедиционных исследованиях и используемой приборной базе. Необходимо отметить участие соискателя в выполнении натурных исследований. В этой главе представлен обзор использованных данных дистанционного зондирования; применяемых алгоритмов восстановления оптических параметров; методик обработки спутниковых данных и поля мутности морской воды на основе натурных и дистанционных методов исследования.

Глава 3 посвящена результатам исследования распространения вод Калининградского залива в юго-восточной части Балтийского моря. Приведено краткое описание основных физико-географических особенностей района исследования. Представлены результаты спутникового мониторинга выноса лагунных вод из Калининградского залива за период с января 2014 по декабрь 2020 г. Только для Калининградского залива за период с января 2014 г. по декабрь 2020 г. обработаны 762 спутниковых сцены высокого пространственного разрешения. Для анализа изображений привлекались возможности разработанной в ИКИ РАН информационной системы See the Sea. Результаты обработки и анализа загружались в базу данных указанной системы.

В этой главе показаны результаты исследования трёхмерной структуры плюма на основе данных натурных измерений. Была установлена связь формы и характера распространения плюма в зависимости от ветрового режима. Приведены результаты

исследования межгодовой и сезонной изменчивости поверхностных проявлений выноса из залива на основе спутниковых данных.

Глава 4 посвящена результатам исследования плюма р. Мзымты на основе спутниковых данных и натурных измерений. Приведено краткое описание основных физико-географических особенностей района исследования в северо-восточной части Чёрного моря. Данная глава посвящена также проблемам восстановления поля мутности и концентрации взвешенного вещества в приустьевой зоне р. Мзымта натурными и дистанционными методами. Представлены результаты попарного корреляционного анализа разных типов данных, результаты рентгенофазового анализа морских проб, описана связь минерального состава и оптической величины мутности, приведены результаты сравнительного анализа различных алгоритмов по восстановлению поля концентрации взвешенного вещества методом дистанционного зондирования, рассмотрена достоверность этих данных и проведена верификация спутниковых данных натурными измерениями.

Глава 5 посвящена результатам исследования плумов рек Терек и Сулак на основе спутниковых данных и натурных измерений. Приведено краткое описание основных физико-географических особенностей районов исследования в северо-западной части Каспийского моря. Представлены результаты спутникового мониторинга приустьевых зон рек Терек и Сулак в период с 2014 по 2022 г. Всего было обработано и проанализировано 2373 спутниковых изображения высокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне сенсоров MSI спутников Sentinel-2A, -2B и OLI/OLI-2 спутников Landsat-8 и Landsat-9. Определены доминирующие направления распространения плумов этих рек.

На основе анализа данных натурных измерений и синхронных спутниковых изображений определена трехмерная структура плумов рек Терек и Сулак в период весенне-летнего паводка. Приведены результаты определения количественных значений мутности и концентрации взвешенного вещества по спутниковым данным. Показано, что выбор алгоритма расчета этих параметров напрямую зависит от мутности реки.

В заключении изложены основные результаты диссертационной работы.

Таким образом, диссертация К.Р. Назировой представляет собой законченное исследование. Цели, задачи и выносимые на защиту положения свидетельствуют о большом объеме выполненных расчетов и их теоретическом осмыслении.

Однако, к диссертации есть **ряд вопросов и замечаний**. К ним относятся следующие:

1. Название диссертации выглядит несколько шире, чем круг рассматриваемых процессов в отдельных регионах Российской Федерации. Выбор объектов исследования ограничивается только побережьем внутренних морей (включая Каспийское море - озеро), для которых влияние приливов пренебрежимо мало по сравнению с прочими природными факторами. Очевидно для окраинных приливных морей «пространственно-временная изменчивость плумов» может существенным образом отличаться.

2. Недостаточно четко сформулировано понятие «плюм» и что под ним подразумевается в данной работе. При обработке космических снимков автор указывает что плюм – это то, что различимо «на спутниковых оптических данных в квазиестественных цветах» (стр. 78). В разделе предмет исследования рассмотрены точки зрения различных авторов на определение плюма, например, трактовка специалистов Института океанологии РАН, в последних работах которых (см., например, Завьялов П.О., Маккавеев П.Н., Коновалов Б.В. и др. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Чёрного моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 3. С. 293–308), плюм рассматривается как динамическая структура, и основными параметрами выделения плюма как водной массы являются температура и соленость воды. В диссертации недостаточно четко обосновано, почему все-таки мутность выбрана наиболее характерным параметром идентификации речного плюма, а соленость и температура лишь вторичными признаками. Возможно, ориентируясь главным образом на

различии в мутности воды, было бы целесообразно выполнить более четкое соотнесение термина «плюм» с аналогичными понятиями, используемыми соискателем в работе - «выносы», «шлейфы», «вытоки». Все эти термины стоило бы рассмотреть и упорядочить в начале работы в разделе предмет исследования.

3. Некоторые вынесенные на защиту утверждения о новизне работы и сформулированные выводы имеют сугубо региональный характер. Например, оценки мутности и концентраций взвешенных веществ в плюмах рек Терек и Сулак, выполненные на основе измерений *in situ*, относятся к одним и тем же сезонам двух лет (2022 и 2023), характеризуя специфичную сезонную картину, и соответственно едва ли могут представлять основу для глобальных оценок распределения мутности. При этом гораздо существенней выглядит число обработанных спутниковых сцен и методология их обработки, что действительно могло бы стать отдельным положением, выносимым на защиту.

4. Вывод 7, раскрывающий связь концентрации взвешенного вещества в пробах и оптической мутностью воды, представляет собой чисто технический вопрос, являющийся неотъемлемой составляющей любых измерений мутности воды.

5. О корректности описания методов полевых исследований. В работе указывается, что *«Объем каждой пробы составлял 1,5 л. Все пробы были взвешены в лабораторных условиях с точностью до 0,01 г с помощью портативных электронных весов»*. Точность взвешивания 0,01 г (10 мг) – даже теоретически недостижима для каких-либо допустимых пределов измерения мутности гравиметрическим способом, поскольку такая точность перекрывает вес самого фильтра. С такой точностью невозможно определить с достаточной точностью мутности воды речных и океанических воды с небольшими величинами мутности. При этом определение концентраций ведется в очень малом диапазоне (менее 5 мг/л – если речь о границе). Однако далее сказано, что определение массы сухой взвеси проводилось в лаборатории Экспериментальной и технической петрологии кафедры петрологии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова... с точностью $\pm 0,0001$ г. Что к чему относится – непонятно.

6. Описание применения алгоритмов C2RCC, Nechad и Dogliotti выглядит весьма поверхностно. Сказано, что их применение предполагает введение поправок *«касающиеся физико-химических свойств водной поверхности и прилегающей атмосферы, а также некоторые арифметические коэффициенты, полученные на этапе тестирования алгоритма»*. Информацию о том, вводились ли эти поправки, и как это было сделано, в работе найти не удалось.

7. Характер связи между мутностью воды и характеристиками отражения водной поверхности на спутниковых снимках обладает большой региональной и сезонной изменчивостью в силу высокой изменчивости крупности и цвета речной взвеси. В связи с этим преобладающим подходом в гидрологии (см., например, работу Чалов, С. Р. Речные наносы, 2024) является получение региональных зависимостей между мутностью воды и характеристиками отражения водной поверхности с применением подспутниковых данных. При этом для разных фаз водного режима одной и той же реки (половодье, межень) зависимость может быть своя. Как используемые в работе универсальные алгоритмы учитывают существующую изменчивость связей – остается непонятным.

8. Есть вопросы по обработке снимков. Достаточно ли атмосферной коррекции ACOLITE DSF для дешифрирования плюмов прибрежных вод (Case 2)? Определение концентраций ведется в очень малых диапазонах (менее 5 мг/л – если речь о границе). На наш взгляд, состояние атмосферы (даже еле заметная на снимке дымка) внесет погрешности в определение мутности воды. И все-таки допущение *«атмосфера является однородной»* хорошо сработает для вод с высокой концентрацией взвеси, а для вод, где мутность априори не высока, может давать существенные погрешности. Проводился ли ручной контроль полученных результатов? Дымка может присутствовать не на всем снимке, а коррекция проводится как раз «по нескольким темным объектам на сцене».

Кроме того, не до конца понятно, какие параметры использовались для расчёта концентрации взвешенных наносов. Снимок в квазиестественных цветах? Чем это оправдано? Физические эксперименты показывают, что наибольший отклик мутности наблюдается в красном спектре, в синем и зеленом прибрежные воды спектрально неразличимы.

Данные замечания могут рассматриваться как элементы научной дискуссии, и не умаляют достоинства диссертационного исследования. В заключении отмечаем высокой профессиональный уровень выполненной работы в части объема обработки спутниковой информации и ее интерпретации. Ряд достижений, сформулированных в защищаемых положениях, является вкладом в исследование распространения речных вод в морях. Достоинством работы является количество проанализированных спутниковых сцен, подходы к обработке значительных массивов данных и их анализа в комплексе с природными условиями.

Заключение

Диссертационная работа Назировой Ксении Равильевны «Пространственно-временная изменчивость плюмов речных и лагунных вод по спутниковым данным и синхронным натурным измерениям» является законченным исследованием на актуальную тему. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.17 – Океанология по географическим наукам. В диссертации имеются необходимые ссылки на источники и авторов используемых материалов. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

Работа соответствует всем требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Назирова Ксения Равильевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – Океанология.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных проблем Российской академии наук 22 июля 2025 г. (протокол № 5).

Ведущий научный сотрудник,
доктор географических наук

Чалов С.Р.

Ведущий научный сотрудник,
кандидат географических наук

Алабян А.М.

Ведущий научный сотрудник,
кандидат географических наук

Крыленко И.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН)
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3
Телефон/факс: +7 (499) 783-37-56
Email: tina@iwp.ru
Сайт: <http://www.iwp.ru/>

