ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Прокопьевой Кристины Николаевны «Трансформация стока воды и взвешенных наносов в дельте р. Лены в условиях изменяющегося климата», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16. - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Актуальность темы исследования

Представленная работа посвящена актуальной научной проблеме – оценке пространственно-временной трансформации стока воды и взвешенных наносов в крупнейшей арктической дельте России в условиях современных климатических изменений. Интенсивное потепление Арктики, протекающее здесь заметно быстрее, чем в среднем по планете, напрямую затрагивает устьевые области рек, где формируется поток вещества и энергии в системе «речной бассейн-море-океан». Дельта р. Лены занимает в этой системе особое положение, так как именно она определяет характеристики пресноводного и терригенного стока, поступающего в море Лаптевых и далее в Северный Ледовитый океан, а тем самым влияет на стратификацию и циркуляцию вод, ледовые условия, биологическую продуктивность шельфа и биогеохимические циклы, в первую очередь углеродного.

Значимость темы усиливается тем, что количественная оценка стока взвеси и связанного с ней органического вещества, поступающих из бассейна Лены в арктические моря, до сих пор во многом остается неопределенной. Традиционные расчеты стока взвешенных наносов опираются на измерения в замыкающих створах, удаленных от реального места впадения рек в море на сотни километров, и не учитывают преобразование потока внутри самой дельтовой сети. При этом регулярный натурный мониторинг на столь обширной и труднодоступной акватории практически неосуществим, а наблюдательная сеть в российской Арктике за последние десятилетия заметно сократилась. В этих обстоятельствах обращение автора к данным дистанционного зондирования в сочетании с экспедиционными измерениями представляется вполне

закономерным и своевременным, а актуальность исследования не вызывает сомнений.

Целью настоящего исследования является оценка пространственно-временной изменчивости стока воды и взвешенных наносов в дельте Лены в XXI в. в увязке с современными гидроклиматическими изменениями, на основе интеграции спутниковых данных и результатов экспедиционных работ. Поставленные задачи охватывают разработку и адаптацию методов дистанционной оценки характеристик стока и интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов, количественное описание их пространственно-временной изменчивости, анализ гидрометеорологических и криолитологических факторов и оценку роли русловых переформирований в формировании внутридельтового баланса наносов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 170 страницах текста, содержит 66 рисунков и 32 таблицы. Список литературы насчитывает 214 наименований, из которых 140 – на иностранных языках.

Содержание работы

Диссертация имеет логичную и завершенную структуру и оставляет впечатление зрелого, самостоятельного исследования. **Во введении** изложены актуальность темы, цель и задачи, защищаемые положения, научная новизна и значимость результатов, охарактеризован личный вклад соискателя и приведен перечень публикаций.

Первая глава содержит географо-гидрологическую характеристику устьевой области Лены – ее строение и природные особенности, гидрологический режим, распределение стока воды и наносов, этапы формирования дельты. Ценно, что климатический фон исследования подтвержден количественно по данным реанализа и по мониторингу температуры многолетнемерзлых пород на НИС «остров Самойловский».

Вторая глава носит методический характер и представляет, на мой взгляд, наибольший практический интерес. В ней создан и настроен комплекс алгоритмов обработки спутниковых снимков: граф-теоретический расчет распределения стока по рукавам, региональные зависимости для восстановления концентрации взвеси по спектральным характеристикам воды и методика дешифрирования плановых деформаций берегов по разновременным снимкам. Существенно, что автор четко обозначает границы применимости построенных моделей, что свидетельствует о корректной оценке их возможностей и ограничений.

В третьей главе охарактеризовано распределение стока воды по рукавам для двух контрастных фаз водного режима и убедительно показано, что русловая сеть функционирует в двух устойчивых режимах, определяющих перераспределение стока между секторами дельты в половодье и его концентрацию в крупных рукавах восточной части дельты в межень.

Четвертая глава, ключевая, посвящена трансформации стока взвешенных наносов и количественной оценке его притока в море Лаптевых. Показано, что за счет эрозионно-аккумулятивных процессов внутри дельты реальный вынос взвеси в море превышает оценки по замыкающему створу. Тем самым автор оценил и обосновал количественно поступление материала в Северный Ледовитый океан с учетом трансформации непосредственно в пределах дельты.

В пятой главе проанализированы факторы трансформации стока взвешенных наносов и обоснована ведущая роль термического разрушения берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами, как механизма продольного нарастания стока взвеси вниз по течению от вершины дельты к ее морскому краю.

В заключении обобщены основные результаты работы в соответствии с поставленными целью и задачами.

Научная новизна результатов и выводов

Научная новизна работы представляется существенной. Автором разработан комплекс региональных алгоритмов дистанционной оценки

распределения стока воды и концентрации взвешенных наносов в условиях многорукавной арктической дельты, реализованный в среде Google Earth Engine и представляющий собой самостоятельный методический результат. Впервые для всей русловой сети дельты Лены получены количественные оценки распределения стока воды и наносов по рукавам дельты при различной водности реки. Автором впервые установлено систематическое продольное нарастание концентрации взвеси, обусловленное термическим разрушением берегов, и на основе многолетнего ряда спутниковых данных количественно охарактеризована его изменчивость. Наконец, совместное использование разработанных методов позволило впервые получить количественную и обоснованную оценку суммарного выноса взвешенных наносов р. Лены в море Лаптевых, что существенно уточняет все предшествующие расчеты, основанные на данных поста Кюсюр. Полученные результаты вносят вклад в понимание трансформации потоков вещества в системе суша-шельф и глобальных биогеохимических циклов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность полученных результатов не вызывают сомнений. Автором использованы признанные международным научным сообществом методологические подходы, сочетающие полевые, лабораторные, статистические, геоинформационные, дистанционные и расчетные методы. Результаты достоверны, воспроизводимы и подтверждены необходимыми статистическими расчетами. Принципиально, что дистанционные алгоритмы откалиброваны и верифицированы по натурным экспедиционным данным, собранным в дельте Лены в 2022 и 2024 гг. при непосредственном участии соискателя с использованием современного высокоточного оборудования, и сопоставлены с материалами наблюдений Росгидромета, данными российско-германских экспедиций и литературными источниками.

Результаты прошли широкую апробацию на 12 российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в

том числе 7 статей в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science и 1 глава монографии.

Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость работы не вызывает сомнений. Уточненная оценка выноса взвешенных наносов р. Лены в море Лаптевых имеет непосредственное значение для анализа биогеохимических потоков в прибрежной зоне дельты реки Лены -крупнейшей дельты в Арктическом регионе. Полученные результаты должны быть интегрированы с многолетними биогеохимическими исследованиями, выполненными в рамках International Siberian Shelf Studies (1999-2026 гг.) на изотопном и молекулярном уровне и направленными на изучение транспорта и трансформации наземного органического вещества в арктической системе суша-шельф моря Лаптевых, что позволит уточнить баланс осадочного материала и повысить репрезентативность климатических и экологических моделей региона. Результаты востребованы при прогнозе развития дельты и трансформации дельтовых экосистем в условиях меняющегося климата, оценке устойчивости арктических берегов, управлении природными ресурсами и реализации международных экологических программ.

Существенное прикладное значение имеют и результаты анализа эрозионно-аккумулятивных процессов в рукавах дельты, необходимые для обеспечения безопасного речного судоходства и устойчивого функционирования Северного морского пути, сохранения ценных угодий Усть-Ленского государственного природного заповедника. Разработанные дистанционные методы применимы и к другим арктическим дельтам России, систематические наблюдения в которых практически отсутствуют, что придает работе значение, выходящее за рамки объекта исследования.

Замечания и пожелания

1. В ранних исследованиях М.Н. Григорьева (1993) была высказана гипотеза о том, что дельта реки Лены растет. Было бы интересно и полезно начать

раскрывать эту тему на основе новых результатов диссертанта, свидетельствующих о ранее неучтенной роли эрозии берегов в исследуемых протоках дельты Лены.

2. Для полноты обзора, в разделе **Степень разработанности темы** было бы полезным упомянуть результаты исследований транспорта и трансформации органического вещества в системе суша-шельф в Лаптевоморском секторе Арктики и во всем Северном Ледовитом океане, которые были получены в рамках международного сотрудничества России (ТОИ ДВО РАН, ТПУ, ТГУ) с партнерами из Швеции, США, Италии (Стокгольмский университет, Обсерватория Ламонт Догерти, Университет Аляска Фэрбанкс, Университет Болонья и др.). Для развития этих исследований, результаты которых опубликованы в ряде статей в ведущих национальных (Геохимия, Доклады РАН, и др.) и зарубежных (Biogeosciences, Environment Research Letters, Geophysical Research Letters, Nature, Nature Communications, Nature Geoscience, и др.) журналах, было бы целесообразно рассмотреть результаты совместно, что позволит уточнить биогеохимическую роль дельты Лены в море Лаптевых и в Тихоокеанском секторе Арктики.

Заключение по диссертации

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей научной и практической ценности выполненного исследования. Считаю, что работа выполнена на хорошем профессиональном уровне. Диссертационная работа Прокопьевой К.Н. выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты обладают научной новизной, имеют теоретическое значение и могут быть использованы при решении ряда практических задач, связанных с прогнозом развития русловых процессов, обеспечением судоходства и мониторингом состояния водных объектов Арктике. Работа написана понятным языком, аккуратно оформлена, содержит достаточное количество иллюстраций, графиков и таблиц. Автореферат объективно отражает основные положения диссертации.

Диссертационная работа Прокопьевой Кристины Николаевны «Трансформация стока воды и взвешенных наносов в дельте р. Лены в условиях изменяющегося климата», представленная на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16. - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, является законченной научно-квалификационной работой, основанной на оригинальном авторском подходе к оценке трансформации стока воды и взвешенных наносов в крупнейшей арктической дельте с использованием фактического материала, полученного в результате экспедиционных исследований, обработки данных наблюдений и дистанционного зондирования, выполненных при непосредственном участии соискателя.

Диссертационная работа Прокопьевой Кристины Николаевны полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения искомой ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16. - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент:

Семилетов Игорь Петрович, доктор географических наук по специальности 25.00.28. - Океанология, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией арктических исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН)

Адрес: 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, ТОИ ДВО РАН

тел.: +7 (423) 231-14-00, +7 (924) 467-78-87

e-mail: igorsm@poi.dvo.ru, ipsemiletov@gmail.com

Я, Семилетов Игорь Петрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«19» октября 2026 г. И.П. Семилетов

Подпись Семилетова И.П. заверяю
ученый секретарь ТОИ ДВО РАН
к.г.н. Алексеева Т.А.

