ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о диссертации Прокопьевой К.Н. «Трансформация стока воды и взвешенных наносов в дельте р. Лены в условиях изменяющегося климата», представленной на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

На рассмотрение представлены следующие документы и материалы:

- том с текстом диссертации на 170 страницах
- автореферат диссертации на 24 страницах

Актуальность темы

Изменение климата в Арктике происходит с беспрецедентной скоростью и масштабом: за последние 40 лет темпы роста температуры воздуха в этом регионе в три раза превысили глобальные тренды. Особенно чувствительны к климатическим изменениям устьевые области арктических рек – переходные зоны между сушей и океаном, где повышение температуры воздуха и деградация многолетнемерзлых пород оказывают существенное воздействие на гидрологические, морфологические и биогеохимические процессы.

Дельта р. Лены – крупнейшая в России и Арктике – представляет собой уникальную зону трансформации потоков вещества и энергии, поступающих из речного бассейна в море Лаптевых и далее в Северный Ледовитый океан. Значительные объемы пресной воды и взвешенных наносов, выносимые Леной, влияют на формирование и таяние морского льда, циркуляцию водных масс и продуктивность арктических морей, участвуют в глобальных биогеохимических циклах, а отсутствие полноценного описания процессов трансформации речного стока в устьях рек ограничивает комплексную оценку физических, химических и биологических процессов в арктических морях.

Существующие глобальные оценки речного стока в Северный Ледовитый океан основаны на данных замыкающих створов, расположенных на сотни километров выше устьевых, и не учитывают роль дельтовых рукавов в трансформации потоков вещества по дельтовым рукавам. При этом наземная сеть наблюдений в устьевых зонах Российской Арктики сократилась, режимные наблюдения в дельте Лены прекращены после 2007 г., а огромная площадь дельты делает проведение регулярных натурных наблюдений логистически и финансово затруднительным. В этих условиях применение данных дистанционного зондирования Земли открывает новые возможности для восполнения указанного пробела, что и определило необходимость настоящего исследования.

Выполненные соискателем исследования являются актуальными и имеют научную и практическую значимость.

Основные результаты

1. Разработан и верифицирован комплекс дистанционных методов для изучения гидрологического режима и русловых переформирований в арктических дельтах: граф-

теоретический подход RivGraph для расчета расходов воды по всей русловой сети, региональные спутниковые алгоритмы оценки концентрации взвешенных наносов для снимков Sentinel-2 и Landsat, реализованные в Google Earth Engine, и методика количественной оценки плановых береговых переформирований на основе 60-летнего ряда спутниковых данных.

2. Впервые получена полная морфометрическая характеристика русловой сети дельты для двух контрастных фаз водного режима. Доказано сосуществование двух классов элементов сети: многочисленных узких распределительных проток и малочисленных широких магистральных рукавов, в которых концентрируется основной сток.

3. Установлено, что характер сезонной трансформации стока воды в дельте определяется двумя устойчивыми режимами. В половодье активизация поперечных гидравлических связей обеспечивает перераспределение стока между секторами дельты, вследствие чего доли стока на устьевых створах существенно отличаются от долей в истоках связанных с ними рукавов. В межень поперечные связи ослабевают, сток концентрируется в восточном направлении, при этом до 88% суммарного стока сосредоточивается в магистральных рукавах восточной части дельты.

4. На основе обработки 280 спутниковых снимков за 2000–2024 гг. впервые систематически охарактеризована трансформация стока взвешенных наносов в дельте. Среднемноголетний сток в вершине дельты оценен в 15,7 млн т в год, а реальный приток в море Лаптевых с учетом внутридельтовой трансформации (+9,0%) составляет 17,0 млн т в год (по разным сценариям от 16,1 до 17,7 млн т в год).

5. Установлены закономерности трансформации стока взвешенных наносов, принципиально отличающиеся от характерных для дельт умеренного пояса. В периоды высокой водности во всех рукавах фиксируется рост концентрации вследствие высокой транспортирующей способности потока и разрушения берегов. В летне-осеннюю межень доминируют метеорологические факторы. Исключением является Трофимовская протока, для которой отсутствует значимая корреляция с краткосрочными метеорологическими факторами при любых условиях водности, что свидетельствует об определяющей роли плановых переформирований.

6. Площадь разрушений берегов аллювиально-морской террасы за 1964–2024 гг. составила 87,3 км² при средней скорости 0,68 м/год; в период 2000–2024 гг. скорость переформирований на ключевых участках возросла на 66% (с 1,56 до 2,57 м/год). Показано, что интенсивность разрушений определяется льдистостью отложений, а не их возрастом и естественной эволюцией дельты; максимальные скорости (до 13,8 м/год) зафиксированы на участках Ледового комплекса. Масса наносов, поступающая в русловую сеть при разрушении берегов, оценивается в 1,42–3,18 млн т в год, что соответствует установленной величине внутридельтового прироста стока взвешенных наносов.

Научная новизна полученных автором результатов работы

Научная новизна состоит в разработке комплекса новых региональных алгоритмов и зависимостей для дистанционной оценки распределения стока воды и концентрации

взвешенных наносов в условиях многорукавной арктической дельты, что создало методическую основу для мониторинга арктических дельт. Применение этого комплекса алгоритмов позволило впервые получить инструментально обоснованную оценку суммарного стока взвешенных наносов р. Лены в море Лаптевых (16,1–17,7 млн т в год), существенно уточняющую все предшествующие расчеты, основанные на данных замыкающего створа г/п Кюсюр.

Практическая значимость работы

Полученные оценки годового стока взвешенных наносов в море Лаптевых как ключевого элемента глобального гидрологического цикла и прогнозных климатических моделей Арктики существенно уточняют существующие расчеты, основанные на данных замыкающего створа г/п Кюсюр, и могут быть использованы при изучении глобальных биогеохимических циклов углерода. Результаты исследования позволяют повысить точность прогноза развития дельты и трансформации дельтовых экосистем в условиях изменения климата и имеют прикладное значение для оценки устойчивости арктических берегов, управления природными ресурсами и реализации международных экологических программ.

Анализ эрозионно-аккумулятивных процессов в дельтовых рукавах служит основой для поддержания условий речного судоходства и обеспечения устойчивости функционирования Северного морского пути. Определение морфодинамически активных зон и опасных участков отступания берегов необходимо для оценки угроз сокращения площади экологически значимых угодий на территории Усть-Ленского государственного природного заповедника и для традиционного природопользования коренных народов Севера. Полученные оценки трансформации речного стока и концентрации взвешенных наносов востребованы при анализе воздействия на водно-биологические ресурсы прибрежных и шельфовых экосистем моря Лаптевых. Разработанные дистанционные методы применимы к другим арктическим дельтам России, для большинства которых систематические наблюдения отсутствуют.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Исследование базировалось на широком комплексе современных методологических подходов, включающем полевые, лабораторные, статистические, геоинформационные, дистанционные и расчетные методы. В том числе, использованы ценные данные натурных измерений, собранные автором в ходе экспедиций в дельту Лены в 2022 и 2024 гг. Адаптация дистанционных алгоритмов проводилась с калибровкой и верификацией по натурным экспедиционным данным, полученным с помощью высокоточного современного оборудования, широко применяемого в мировой практике. Верификация модели распределения стока воды выполнена на независимом массиве данных и показала высокую степень соответствия натурным измерениям, а показатели точности соответствуют мировым аналогам для многорукавных дельт. Достоверность результатов подтверждена сравнением с литературными данными, результатами российско-германских экспедиций и данными мониторинга Росгидромета, с учетом

источников возможных ошибок. Статистический анализ выполнен с применением критериев Спирмена, Манна – Уитни и Петтитта.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных соискателем работах

По теме диссертации опубликовано 13 статей в рецензируемых научных изданиях, из них 11 – в журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией РФ, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science (Scientific Reports, Ecological Indicators, Remote Sensing, Water), а также 18 тезисов докладов на международных и российских научных конференциях.

Статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях из списка ВАК, в т.ч. индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science:

1. **Прокопьева К.Н.**, Магрицкий Д.В. Распределение стока воды по рукавам дельты реки Лены: применение метода автоматизированного построения графа речной сети (RivGraph) // Водные ресурсы. — 2026. — Т. 53. — № 5. (принята к публикации)
2. **Прокопьева К.Н.**, Чалов С.Р. Анализ причин увеличения мутности воды в дельте р. Лена // Водные ресурсы. — 2025. — Т. 52. — № 2. — С. 30–44. DOI: 10.31857/S0321059625020037
3. Chalov S., **Prokopeva K.**, Magritsky D., Grigoriev V., Fingert E., Habel M., Juhls B., Morgenstern A., Overduin P.P., Kasimov N.S. Climate change impacts on streamflow and sediment transport in the Lena River Delta // Ecological Indicators. — 2023. — Vol. 157. — P. 111252. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111252
4. Магрицкий Д.В., **Прокопьева К.Н.**, Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Лошкова О.В., Конева У.А., Лошков О.Д. Гидрологические условия в дельте реки Лена в августе 2024 г. // Известия Русского географического общества. — 2026. — Т. 158. — № 2. — С. 65–90. DOI: 10.7868/S3034538326020045
5. Chalov S., **Prokopeva K.**, Habel M. North to south variations in the suspended sediment transport budget within large Siberian river deltas revealed by remote sensing data // Remote Sensing. — 2021. — Vol. 13. — no. 22. — P. 4549. DOI: 10.3390/rs13224549
6. Chalov S., **Prokopeva K.** Sedimentation and erosion patterns of the Lena River anabranching channel // Water. — 2022. — Vol. 14. — no. 23. — P. 3845. DOI: 10.3390/w14233845
7. Чалов С.Р., **Прокопьева К.Н.** Оценка баланса взвешенных наносов в дельте р. Лены по данным дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. — 2021. — № 3. — С. 19–29. DOI: 10.31857/S0205961421030027
8. Chalov S., **Prokopeva K.**, Efimov V., Ivanov V., Koffi B., Botavin D., Babinski Z., Zimov N., Pavlyukevich E., Habel M. Implications of Yedoma bank outcrop on the Arctic river sediment transport // Scientific reports. — 2025. — Vol. 15. — P. 19320. DOI: 10.1038/s41598-025-02614-7
9. Магрицкий Д.В., Чалов С.Р., Гармаев Е.Ж., **Прокопьева К.Н.**, Крастынь Е.А. Новые данные о трансформации стока воды и наносов в дельте реки Лены по итогам экспедиционных измерений в августе 2022 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2023. — Т. 69. — № 2. — С. 171–190. DOI: 10.30758/0555-2648-2023-69-2-171-190
10. Чалов С.Р., Морейдо В.М., **Прокопьева К.Н.**, Ефимов В.А. Влияние береговых едомных обнажений на сток наносов арктических рек // Гидросфера. Опасные процессы и явления. — 2022. — Т. 4. — № 2. — С. 141–157. DOI: 10.34753/HS.2022.4.2.165
11. Магрицкий Д.В., Морейдо В.М., **Прокопьева К.Н.** Изменение каскадом водохранилищ стока взвешенных наносов реки Вилюй // Гидросфера. Опасные процессы и явления. — 2022. — Т. 4. — № 1. — С. 68–92. DOI: 10.34753/HS.2022.4.1.68

Публикации в других изданиях:

12. **Прокопьева К.Н.**, Конева У.А. Закономерности плановых переформирований в дельте реки Лены // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — 2025. — Т. 12 — С. 153–164. DOI: 10.24412/2687-1092-2025-12-153-164

13. Chalov S., **Prokopeva K.**, Magritsky D. Lena River Delta // Delta Sustainability: A Report to the Mega-Delta Programme of the UN Ocean Decade. Eds Weiguo Zhang, Huib de Vriend. — 2024. — P. 145–164. DOI: 10.1007/978-981-97-7259-9

В опубликованных материалах изложены все основные научные результаты, полученные автором в рамках диссертационного исследования.

Выводы

Комиссия, рассмотревшая диссертационную работу К.Н. Прокопьевой, считает, что она может быть представлена к защите в Диссертационный совет 24.1.040.01 (Д 002.040.01) при Институте водных проблем РАН, поскольку отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 1.6.16 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия», посвящена актуальной теме, содержит новые, научно значимые результаты, имеет очевидную практическую применимость. Работа выполнена диссертантом самостоятельно.

Высказанные при обсуждении замечания рекомендуется учесть при подготовке доклада к защите.

Члены комиссии:

Главный научный сотрудник ИВП РАН,
д.т.н. М.В. Болгов

Главный научный сотрудник ИВП РАН,
д.г.н. Ю.Г. Мотовилов

Старший научный сотрудник ИВП РАН,
к.г.н. И.Н. Крыленко

М.В. Болгова, Ю.Г. Мотовилова,
Подпись руки И.Н. Крыленко
заверяю:
зав. канцелярией О.Л. Киселева
ИВП РАН 25.08.2026 г.