

*Жаданова П.Д., Назирова К.Р.*

Цикл статей

**"Современные алгоритмы расчета концентрации взвешенного вещества и мутности в приустьевых зонах морей по оптическим спутниковым данным высокого пространственного разрешения: анализ и верификация"**

Цикл состоит из 4-х статей:

- 1.** Лаврова О.Ю., Назирова К.Р., Алферьева Я.О., Жаданова П.Д., Строчков А.Я. Сопоставление параметров плюмов рек Сулак и Терек на основе спутниковых данных и измерений *in situ* // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. **2022**. Т. 19. №5. С. 264-286. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-264-283. (*Индексируется Scopus, РИНЦ, Q3*).
- 2.** Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Алферьева Я.О., Князев Н.А. Пространственно-временная изменчивость плюмов рек Терек и Сулак по спутниковым данным и синхронным натурным измерениям // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. **2023**. Т. 20. № 5. С. 285–303. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-285-303. (*Индексируется Scopus, РИНЦ, Q3*).
- 3.** Жаданова П.Д., Назирова К.Р. Анализ и верификация алгоритмов определения мутности и концентрации взвешенного вещества, имплементированных в программный комплекс ACOLITE // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. **2023**. Т. 20, № 5. С. 50-68. DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-5-50-68. (*Индексируется Scopus, РИНЦ, Q3*).
- 4.** Жаданова П.Д., Лаврова О.Ю. Влияние выбора данных спутников Landsat 8/9 и Sentinel 2A/2B на результаты определения мутности воды в приустьевых зонах рек // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. **2024**. Т. 21, № 3. С. 244-265. DOI 10.21046/2070-7401-2024-21-3-244-265. (*Индексируется Scopus, РИНЦ, Q3*).

Восстановление количественных характеристик физических и оптических свойств морских вод на основе спутниковых данных дистанционного зондирования в ряду приоритетных направлений в области океанологических исследований. Цикл представленных научных работ выполнен в рамках исследований по теме гранта Российского научного фонда № 23-27-00124 (<https://rscf.ru/project/23-27-00124/>) под руководством Назировой К.Р. Основной задачей научного исследования последний лет являлась валидация современных спутниковых алгоритмов по восстановлению количественных данных о концентрации взвешенного вещества и мутности морской воды в приустьевых районах морей России синхронными натурными подспутниковыми измерениями. В качестве тестовых районов были выбраны приустьевые зоны рек Мзымта, впадающая в Черное море, и Терек и Сулак, впадающие в Каспийское море.

Ранее, и в частности в работе 2021 г. (Nazirova, K., Alferyeva, Y., Lavrova, O., Shur, Y., Soloviev, D., Bocharova, T., Strochkov, A. Comparison of In Situ and Remote-Sensing Methods to Determine Turbidity and Concentration of Suspended Matter in the Estuary Zone of the Mzymta River, Black Sea // *Remote Sens.* 2021, 13, 143. <https://doi.org/10.3390/rs13010143>) большое внимание было уделено тестовому району Черного моря – приустьевой зоне р. Мзымта.

Статьи (1) и (2) посвящены исследованию пространственно-временной изменчивости плюмов рек Терек и Сулак, впадающих в Каспийское море, анализу применимости стандартных алгоритмов пакета ACOLITE и уже полученных ранее результатов для новых тестовых районов. В этих работах представлены результаты верификации спутниковых данных на основе серии проведенных натурных измерений в июне 2022-2023 гг. В работе (1) представлено сопоставление параметров двух плюмов и выделены основные особенности каждого, необходимые при учете применимости спутниковых данных. результате спутникового мониторинга приустьевых зон рек Терек и Сулак за период с 2014–2022 гг. было определено, что 73 км береговой черты побережья Дагестана севернее г. Махачкалы потенциально подвержены загрязнению, попадающему в море с водами этих рек. Анализ полученных спутниковых изображений показал, что наблюдается ярко выраженная пространственная асимметрия в направлении распространения выносов рек. Для обеих рек на большом временном интервале существует доминирующее направление распространения, а именно юго-восточное. Была выявлена сезонная изменчивость проявления на спутниковых изображениях плюмов рек Терек и Сулак. На основе спутниковых данных и синхронных подспутниковых измерений *in situ* была получена трёхмерная структура плюмов рек Терек и Сулак и определено пространственное распределение основных параметров: температуры, солёности, мутности и концентрации хлорофилла а. Было установлено, что глубина проникновения речных вод не превышает 1,5–2 м и, несмотря на количество взвешенного вещества, выносимого с речным стоком, и расхода реки, основная масса взвеси аккумулируется в одной и той же локализованной области, примерно в 500 м от берега. Проведенный отбор морских проб и рентенофазовый анализ позволил определить минеральный состав взвеси в новых тестовых районах и выделить зависимости между минеральным составом и мутностью морской воды в разных частях речных плюмов (аналогично тем работам, что были сделаны для Черного моря).

В работе (3) представлен подробный обзор современных алгоритмов Nechad и Dogliotti после применения атмосферной коррекции ACOLITE DSF. Подробно изложена методика расчётов оптических параметров морской воды по упомянутым выше алгоритмам и

описан опыт использования различных стандартных спутниковых алгоритмов в прибрежных зонах Каспийского и Чёрного морей. Установлено, что применение стандартного алгоритма Nechad для расчёта мутности морской воды даёт высокую корреляцию с результатами подспутниковых измерений в приустьевых районах р. Мзымты при значениях мутности  $<50$  NTU (англ. Nephelometric Turbidity Unit). Показана возможность использования алгоритма Dogliotti в различных географических районах при условии высокой степени замутнённости прибрежных вод ( $\geq 100$  NTU). Полученные результаты могут служить методической рекомендацией к использованию рассматриваемых в работе алгоритмов в прибрежных районах Чёрного и Каспийского морей.

В рамках работы (4) проведено сопоставление результатов определения мутности на основе синхронно полученных данных приборами OLI/OLI-2 (Landsat-8/9) и MSI (Sentinel-2A/2B) и оценке, как выбор спутниковых данных влияет на итоговые результаты обработки данных. Анализ полученных результатов показал, что наблюдалась высокая корреляционная зависимость между значениями мутности в четырёх разных районах в разные месяцы для двух спутниковых аппаратов. Особенно важным представляется определение линейной зависимости между результатами расчёта мутности воды, что свидетельствует о согласованности данных, получаемых с обеих спутниковых систем. Таким образом, показано, что для районов исследования выбор спутника не даёт значительных различий в окончательных результатах. Об этом свидетельствуют рассчитанные статистические характеристики, такие как MAD, MARD и RMSD, которые обеспечивают надёжную оценку и сравнение результатов, полученных с разных спутников. Выявлено, что для слабо замутнённых вод MAD составляет  $\sim 1-5$  NTU, MARD  $\sim 10-15$  %, RMSD  $\sim 1-5$  NTU. Для сильно замутнённых вод показатели качества несколько отличаются: MAD составляет  $\sim 10-20$  NTU, MARD  $\sim 15-30$  %, RMSD  $\sim 15-40$  NTU. Следует отметить, что в среднем, если значения мутности не превышают 100 NTU, результаты, получаемые по данным OLI/OLI-2 Landsat-8/9, несколько выше, чем по данным MSI Sentinel-2A/2B. При значениях мутности, превышающих 100 NTU, наблюдается обратная картина: завышение значений, полученных при использовании данных с MSI по сравнению с результатами с OLI/OLI-2.