

Восстановление трехмерной структуры плюма р. Терек и Сулак по спутниковым данным и измерениям in-situ

Назирова К.Р., Лаврова О.Ю.

Институт космических исследований РАН



Терек - берёт начало на склоне Главного Кавказского хребта на высоте 2713 м над уровнем моря. Длина реки — 623 км, площадь водосборного бассейна — 43 200 км². Мутность 400—500 г/м³ (в 2 раза выше чем в Волге) За год выносит от 9 до 26 млн т взвешенных наносов

Сулак - берет начало в месте слияния рек Андское Койсу и Аварское Койсу. Длина реки - 169 км. Сток - зарегулирован двумя водохранилищами: Чирюртовым и Чиркейским, расположенным в 142 км от моря. За год выносит до 1,8 млн т взвешенных наносов

Мотивация: В районе дельты р. Терек находится Аграханский заказник (биосферный заповедник), в котором обитают редкие виды птиц. Район дельты р. Сулак примыкает к рекреационной зоне г. Махачкалы. Мониторинг приустьевых зон рек Терек и Сулак является важной экологической задачей.

Следует отметить, что многолетний спутниковый мониторинг выносов рек Терек и Сулак ранее никем не проводился.

Отдельные спутниковые изображения этого района приведены в Атласе космических снимков «Устья рек России» (Кравцова, Митькиных, 2013)

Информация о спутниковых данных и натурных измерениях в июне 2023 г.

Дата	Время (UTC)	Прибор, спутник	Район проведения измерений	Количество станций измерений	Время судовых измерений (UTC)
2 июня	07:47	MSI Sentinel-2B	Терек, Сулак	25	08:20 – 12:00
3 июня	07:36	OLI-2 Landsat-9	-	-	Измерения не проводились
4 июня	07:30	OLI Landsat-8	Сулак	28	07:11 – 09:54
5 июня	07:57	MSI Sentinel-2B	Терек, Сулак	27	07:07 – 10:32
7 июня	07:47	MSI Sentinel-2A (облачно)	Сулак	14	07:00 – 08:42

Подспутниковые натурные измерения были проведены 2, 4, 5 и 7 июня 2023 г. в приустьевых зонах Терек и Сулак. Измерения проводились на разрезах вдоль и поперек берегу. Такое положение измерительных станций позволяет получить пространственные характеристики измеряемых величин: температуры, солености, мутности и хлорофилла-а, а также определить границу плюмов и сравнить полученные результаты со спутниковой информацией.

На период синхронных подспутниковых измерений было получено 5 оптических спутниковых изображений, одно из них, за 7 июня оказалось неинформативным (92% облачности). Измерения параметров плюмов 4 раза были проведены в приустьевой зоне р. Сулак и 2 раза в приустьевой зоне р. Терек. Возможность работы у устья Терек осложняется логистическими трудностями. В общей сложности было выполнены измерения на 94 станциях

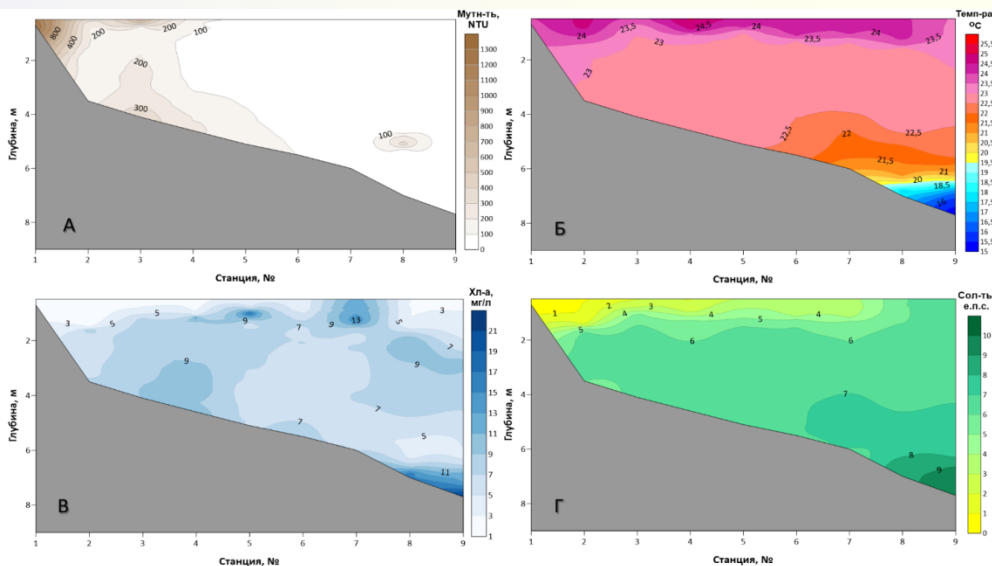
Результаты исследования трехмерной структуры плюма р. Терек (1)



а



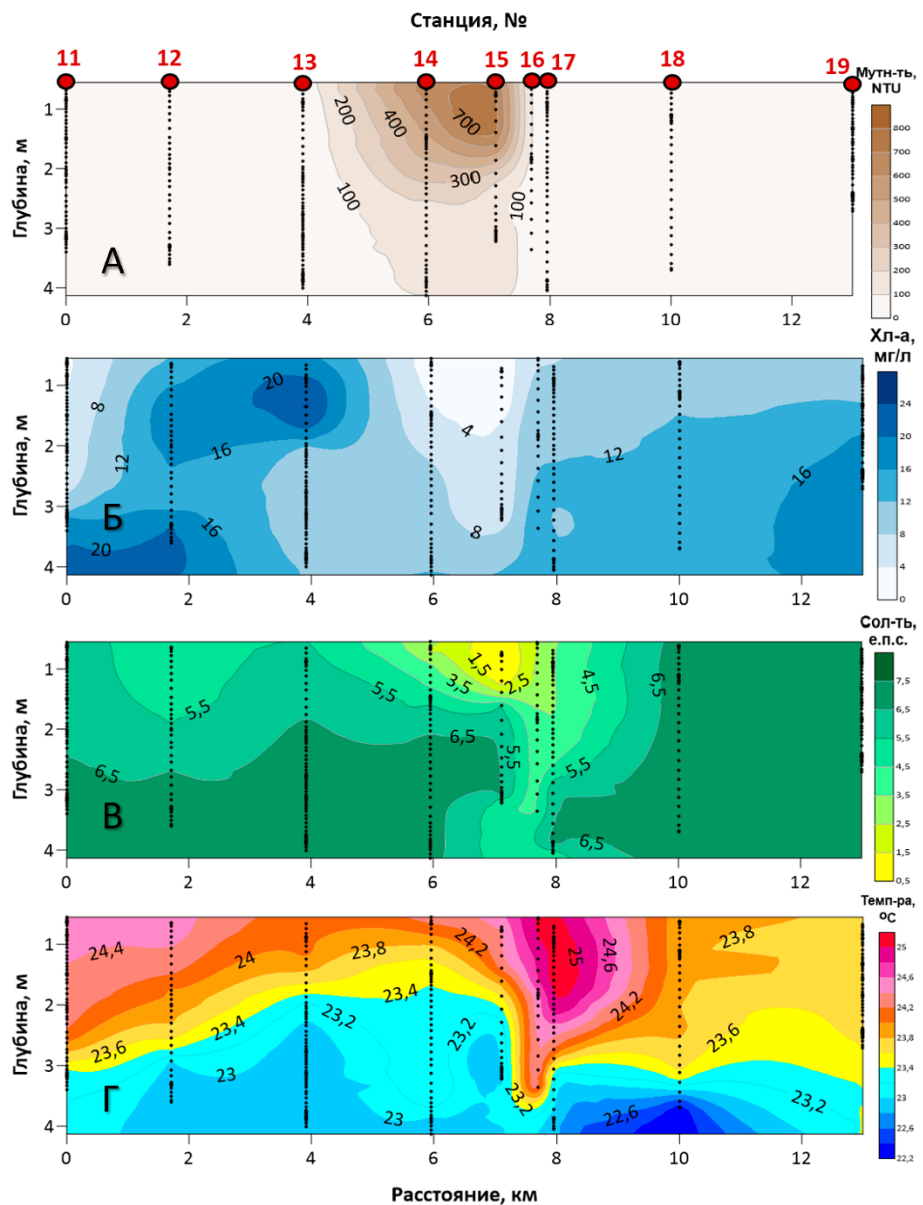
б



В

Фрагмент цветосинтезированного изображения MSI Sentinel-2B за 2 июня 2023 г. Номера и положение CTD-измерений отмечены цветом: а) разрез № 1 (поперечный разрез). Красным цветом схематично обозначен цуг внутренних волн, стрелки указывают направление распространения цуга; б) разрез № 2 (продольный разрез).

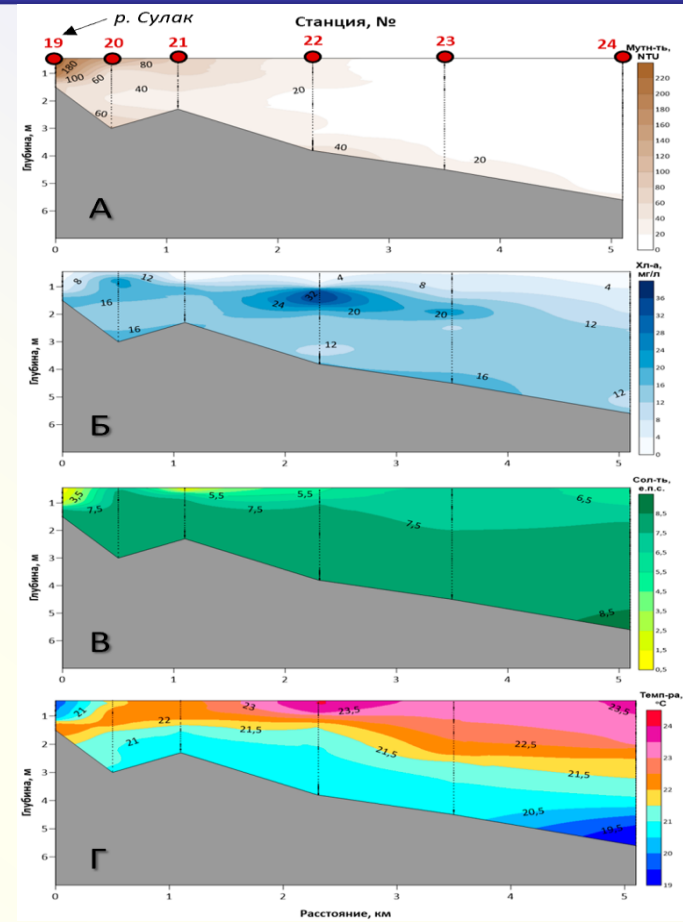
в) Распределение мутности, концентрации Chl-a, солёности и температуры на станциях CTD-зондирования продольного разреза № 2 от 2 июня 2023 г. Глубина интрузии речных вод составляет примерно 1,5-2 м. В поле мутности плум характеризуется экстремальными градиентами измеренных значений. На дальней станции за границей плума (ст. № 9) измеренная мутность морской воды в приповерхностном слое равняется 9 NTU.



Распределение мутности (а), концентрации Chl-a (б), солености (в) и температуры (г) на станциях STD-зондирования продольного разреза № 2 от 2 июня 2023 г. Устье р. Терек находилось между станциями 14 и 15.

На графиках отчетливо прослеживается основная область, подверженная большому воздействию от поступления пресных вод, содержащих большое количество взвешенного вещества. Ей соответствует двухкилометровый участок, примыкающий к устью реки Терек (между станциями № 13-16). Для этой области характерны повышенные значения мутности, минимальные значения солености морской воды и, как правило, низкие значения концентрации хлорофилла-а. Скорее всего, именно в этой области происходит основное осадконакопление выносимого взвешенного вещества с суши.

Получено, что трехмерная структура плюма р. Терек сохранилась практически такой же в течение трех дней, несмотря на увеличения мутности речной воды.



Фрагмент цветосинтезированного изображения OLI Landsat-8 за 4 июня 2023 г. Номера и положение CTD-измерений отмечены цветом: оранжевые метки - разрез № 1; розовые – разрез № 2; красные – разрез № 3

Область максимальных значений мутности морской воды не удалены от устья реки дальше 500 метров. Вдольбереговая северная граница распространения речных вод находится в 2, 5 км от устья (ст. № 22).

Максимальные значения мутности морской воды вблизи устья р. Сулак не превышали 106 НТУ, что в несколько раз меньше, чем днём ранее, когда сказывалось влияние схода селей. На кромке плюма мутность морской воды составляла 14 НТУ. Область повышенных значений мутности находилась не дальше 500 м от устья. Глубина интрузии речных вод – 1,5 м.

Распределение мутности (а), концентрации Chl-a (б), солёности (в) и температуры (г) по глубине на станциях зондирования разреза № 1 от 4 июня 2023 г.

- Результаты проведённых в июне 2023 г. подспутниковых синхронных измерений *in situ* основных параметров — температуры, солёности, мутности, концентрации хлорофилла а позволили впервые определить трёхмерную структуру плюмов рек Терек и Сулак.
- Было установлено, что изогалина 4,5–5 епс является нижней границей плюма 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, и сохраняется устойчивая стратификация прибрежных вод в зоне влияния речного плюма с примерно постоянной толщиной плюма 1,5–2 м.
- Неоднократное совпадение границ области влияния речных вод, установленных по спутниковым данным и измеренных *in situ*, позволяет с уверенностью использовать методы дистанционного зондирования для мониторинга приустьевых районов без привлечения натуральных данных.

Экспедиционные работы и обработка результатов, полученных in-situ, проводилась в рамках и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-27-00124.