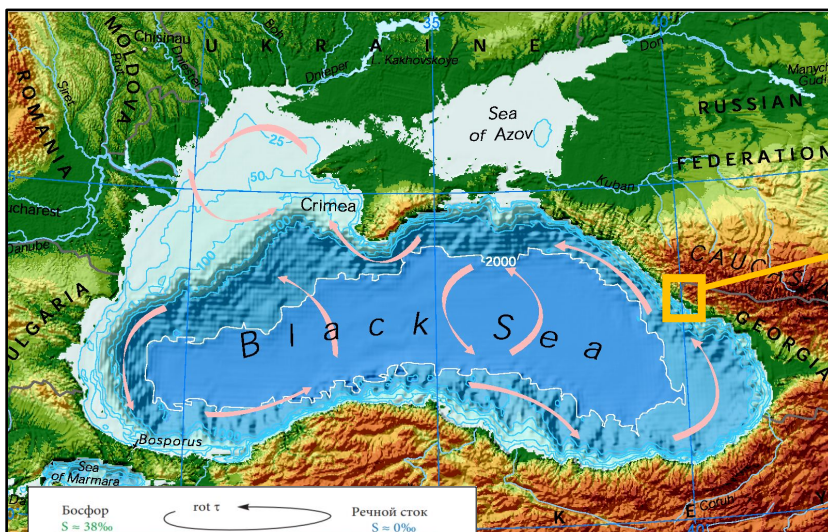




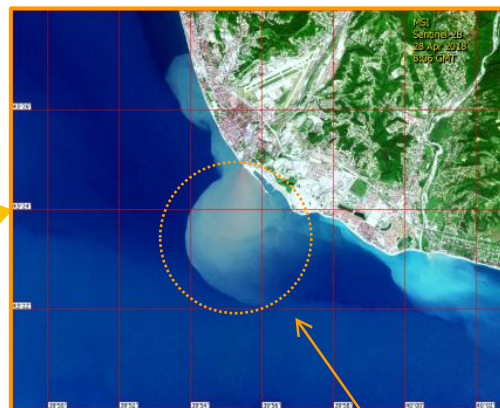
ИКИ РАН
Исследование Земли из космоса

Полигон подспутниковых измерений «Мзымта»

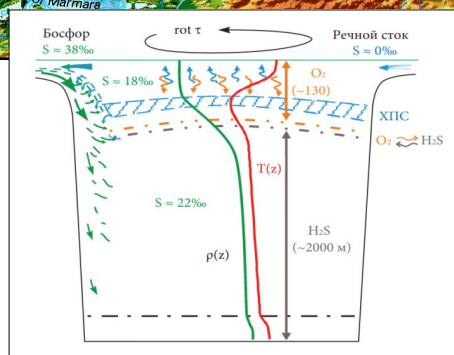
Назирова Ксения Равильевна
knazirova@cosmos.ru



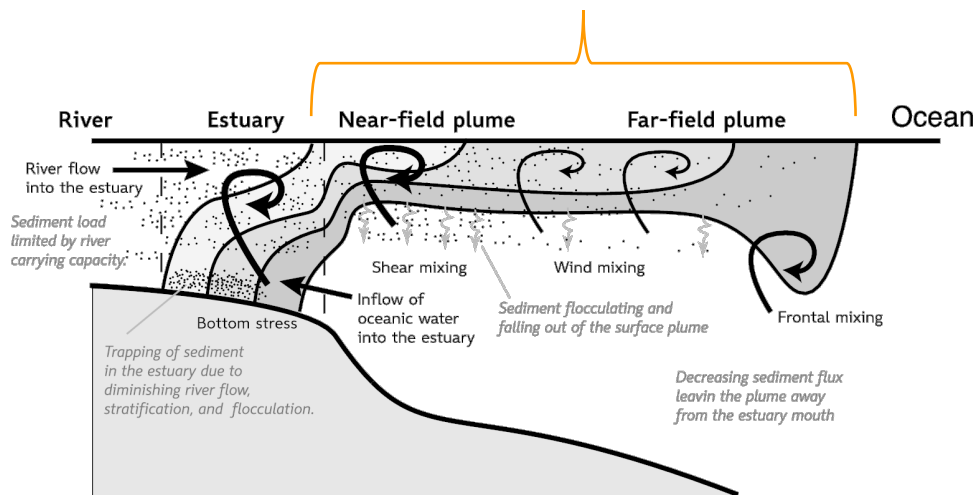
MSI Sentinel-2. Плюм реки Мзымта. 28 Апреля, 2018.



Поверхностное проявление речного плюма



Гидрологическая структура вод Черного моря.
А.Г. Зацепин и др.



Freshwater and sediment dispersal in large river plumes.
R.D. Hetland, T.J. Hsu

Мутность морской воды — это оптическая характеристика, отражающая снижение её прозрачности из-за содержания в ней взвешенных твердых или коллоидных частиц.

Примеры проявления плумов р. Мзымта на спутниковых изображениях

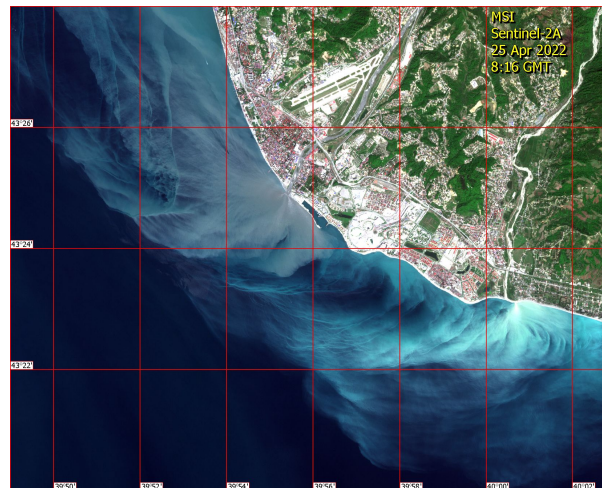
Плюмы (от англ. plume) – динамические структуры прилегающие к устью, сформированные за счёт смешения морских и речных водных масс, выделяющиеся пониженной солёностью и отличной от окружающей воды температурой, а так же, как правило, повышенной мутностью, высоким содержанием взвеси и растворенной органики [Завьялов и др., 2014].



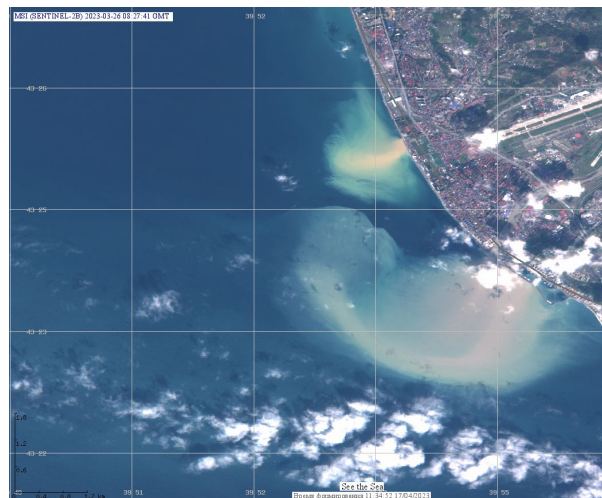
Фрагмент MSI Sentinel-2. 12 мая 2021г.



Фрагмент MSI Sentinel-2. 23 марта 2020г.

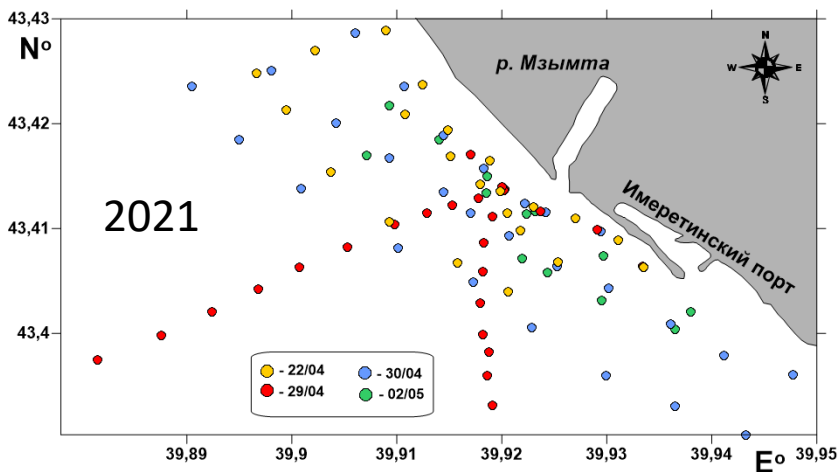


Фрагмент MSI Sentinel-2. 25 апреля 2022г.



Фрагмент MSI Sentinel-2. 26 марта 2023г.

Информация об экспедиционных исследованиях



Карта-схема станций, выполненных во время экспедиционных работ на Черноморском полигоне в 2021 г.

Основные задачи экспедиционных исследований:

- Проведение экспериментальных исследований и измерений in-situ, синхронных со спутниковой съемкой, направленных на выявления параметров речного плюма, его трехмерной структуры и исследование влияния гидродинамических процессов на вынос р. Мзымта;

- Усовершенствование методики получения количественных характеристик, в первую очередь содержания взвешенного вещества и мутности морской воды на основе данных новейших сенсоров спутникового базирования и валидация полученных данных с результатами подспутниковых измерений.

№	Год	Период	Кол-во выходов в море	Кол-во CTD-станций	Кол-во синхр. in-situ
1	2018	20 - 30 апреля	5	64	3
2	2019	22 апр. - 3 мая	7	138	4
3	2021	21 апр. - 3 мая	4	91	1
4	2022	24 апр. - 4 мая	5	106	2
5	2023	16 апр. - 6 мая	6	106	2
6	2024	23 апр. - 2 мая	5	132	0
7	2025	23 апр. - 5 мая	6	124	1
8	2026	25 апр. - 7 мая	5	104	3
		Всего:	42	865	16

Судовые натурные измерения



судовая метеостанция
Airmar WeatherStation 150WX



Навигатор
Garmin Oregon 550



CTD-зонд RBR-concerto



измеритель флюоресценции
Turner Design Cyclops-7



портативный турбидиметр
Apera Inst. TN400



измеритель мутности
Seapoint Turbidity





Lafil 400-LF30

Весы портативные электронные **Scout SPX6201**
производства компании **Ohaus**



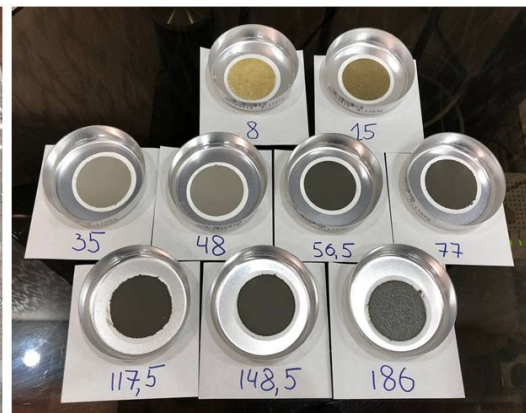
стекловолоконные фильтры **WHATMAN GF/F**,
изготовленные из гидрофобного
боросиликатного стекла



На фотографиях представлены фильтры сразу после процесса фильтрации: 2019 г. - слева, 2021 г. - справа. Цифрами подписано значение мутности морской воды в пробе, определенное портативным *турбидиметром TN400*.



Порошковый дифрактометр **STOE-STADI MP**



Данные дистанционного зондирования

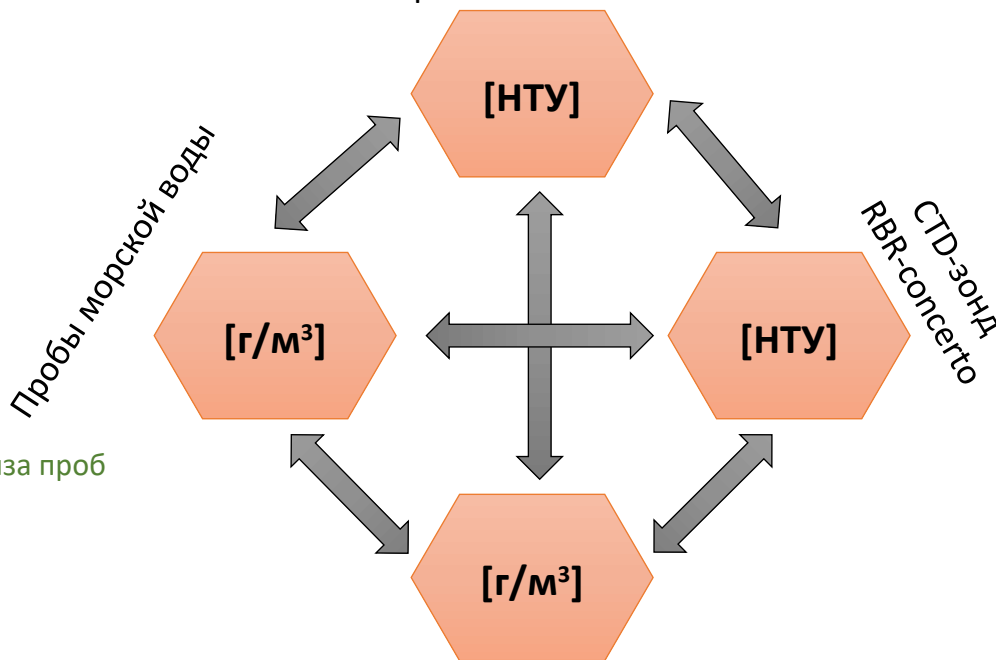
- ❑ Были использованы архивы данных дистанционного зондирования, расположенные на глобальных порталах <https://earthexplorer.usgs.gov> и <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>.
- ❑ Источником дистанционной информации в нашей работе явились данные, полученные с приборов спутников **Landsat-8,9** и **Sentinel-2**, а именно с мультиспектральных сенсоров Operational Land Imager (OLI) и Multispectral Instrument (MSI) соответственно.
- ❑ В ПО Sentinel Toolbox SNAP (<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>) был применен алгоритм C2RCC (Case 2 Regional Coast Colour).
- ❑ Для всех данных Landsat-8 OLI и Sentinel-2 MSI была выполнена атмосферная коррекция методом ACOLITE DSF (*Dark Spectrum Fitting*) в ПО Generic ACOLITE Python (<https://github.com/acolite/acolite>).
- ❑ На основе спутниковых данных были получены следующие продукты: **Turbidity** – мутность морской воды и **Total Suspended Matter** – концентрация взвешенного вещества.
- ❑ Были использованы следующие стандартные алгоритмы восстановления оптических параметров на основе спутниковых данных: алгоритм **C2RCC; Nechad 2009; Nechad 2015; Dogliotti**.
- ❑ Анализ массива архивных спутниковых данных и формирование сводных карт поверхностных проявлений выноса из Калининградского залива проводились с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>) с помощью инструментария информационной системы See the Sea (STS, <http://ocean.geosmis.ru>)



Методика восстановления поля мутности на основе натуральных и дистанционных методов исследования

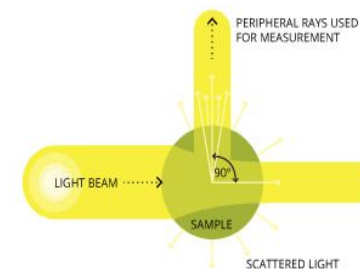
«Определение мутности по нефелометрии» является стандартом Агентства США по охране окружающей среды.

Портативный турбидиметр
Apera Inst. TN400



Данные спутникового зондирования

«спектральные величины яркости
восходящего излучения на верхней
границе атмосферы»



косвенный оптический метод оценки содержания взвеси в морской воде за счет измерения отраженного светового сигнала от присутствующих в водной толще взвешенных частиц

Не существует стандартного преобразования между единицами мутности [НТУ], [ФНУ] и количественными измерениями концентрации взвешенного вещества [г/м³]. Для каждого отдельного района, обладающего уникальным минеральным составом частиц, необходимо проводить собственные исследования для того чтобы описать эту модель пересчета.

Мелкомасштабная динамика сдвига границы речного плюма

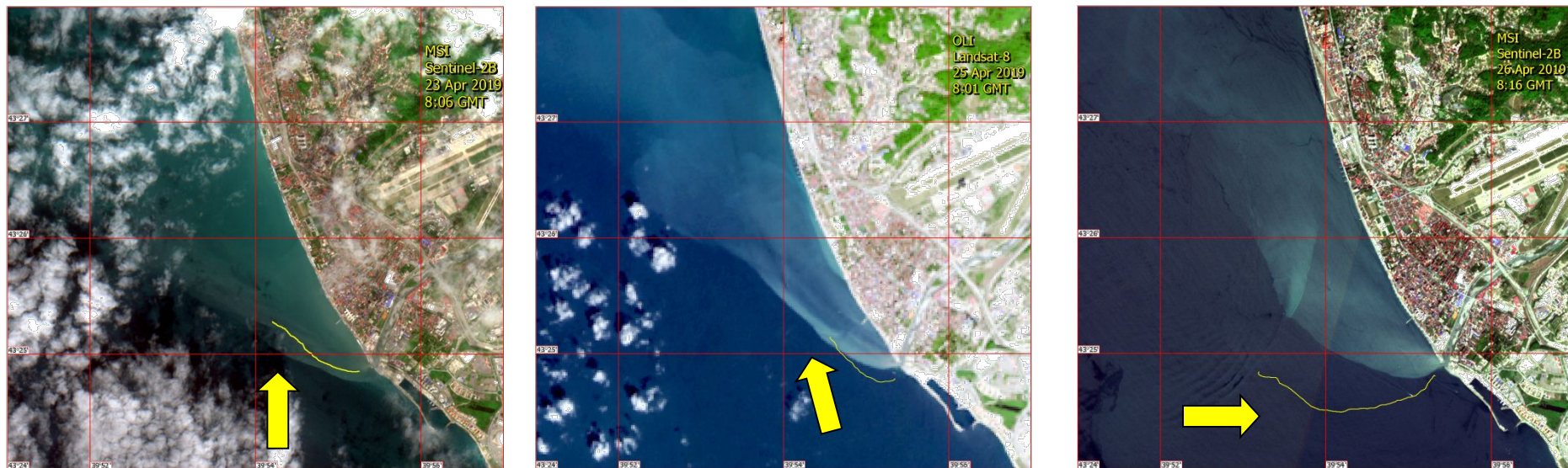


Иллюстрация короткопериодного смещения границы речного плюма на фрагментах спутниковых изображений за 23 апреля (слева), 25 апреля (посередине) и за 26 апреля (справа) 2019 г. На изображениях True Color желтой линией нанесён GPS-трек вдоль границы речного плюма спустя 3 часа после пролёта спутников. Желтой стрелкой указано направление преобладающих румбов в течение этого времени.

□ **Впервые оценены мелкомасштабные скорости смещения границы речного плюма** Мзымты и их связь с направлением ветра. Было получено, что при **слабых Ю, ЮВ** румбах смещение границы минимально: за три часа со скоростью **0,02–0,03 м/с** она смещается на 250-350 метров "прижимными" ветрами в сторону или вдоль береговой зоны (23 и 25 апреля). Максимальное смещение границы речного плюма отмечалось при **З** румбах (26 апреля): за три часа граница сместилась на 900 м мористее - **0,08 м/с**.

□ Было получено, что граница плюма меняет свое положение в короткий период времени, что **очень важно учитывать** при сравнении данных контактных и дистанционных измерений.

Результаты опубликованы:

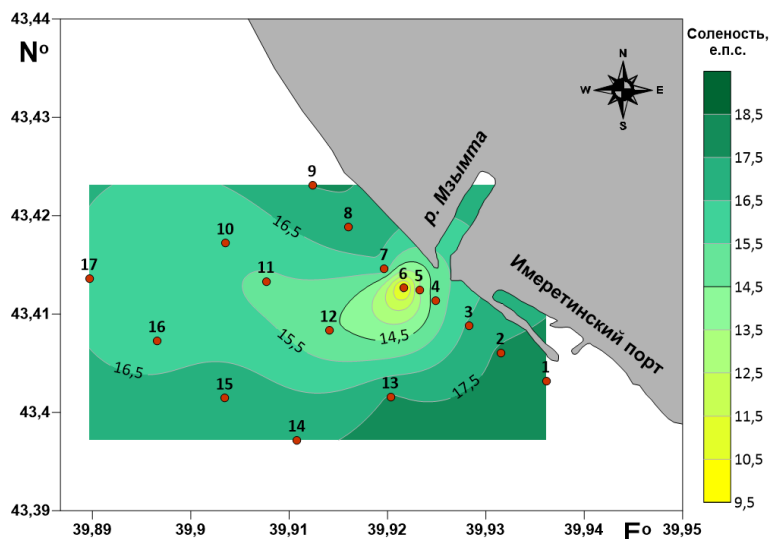
Nazirova K., Lavrova O., Krayushkin E. Features of monitoring near the mouth zones by contact and contactless methods // *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*. 2019. V. 11150. 111500H.

DOI: 10.1117/12.253316.

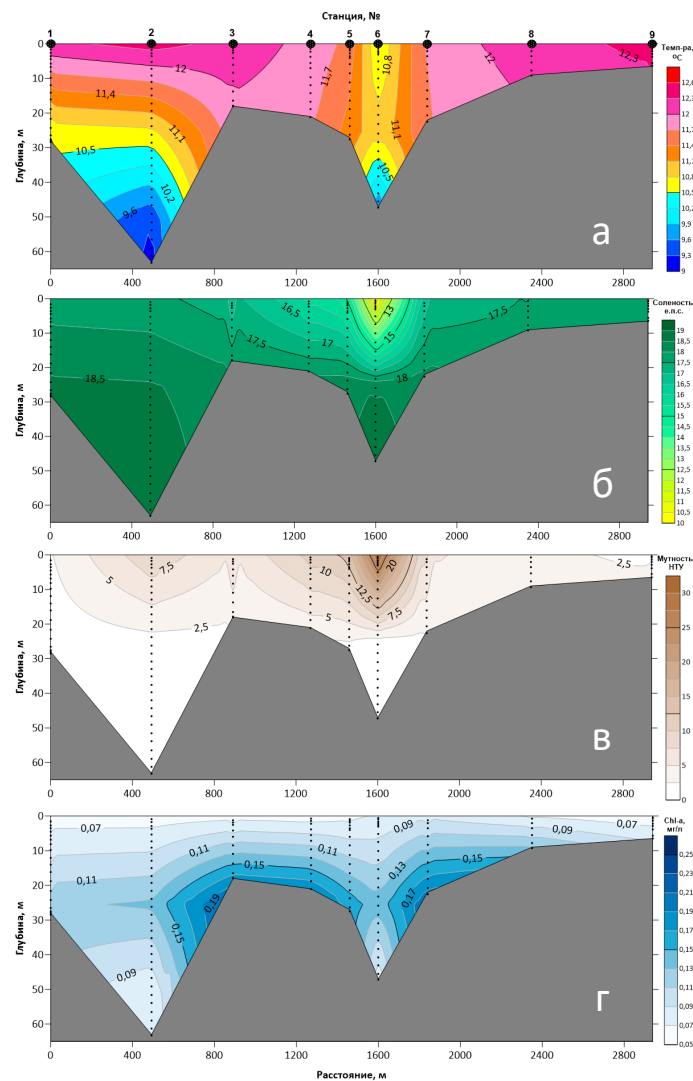
Влияние материкового стока на гидрологическую структуру прибрежных вод



Фрагмент MSI Sentinel-2. 26 апреля 2026г.

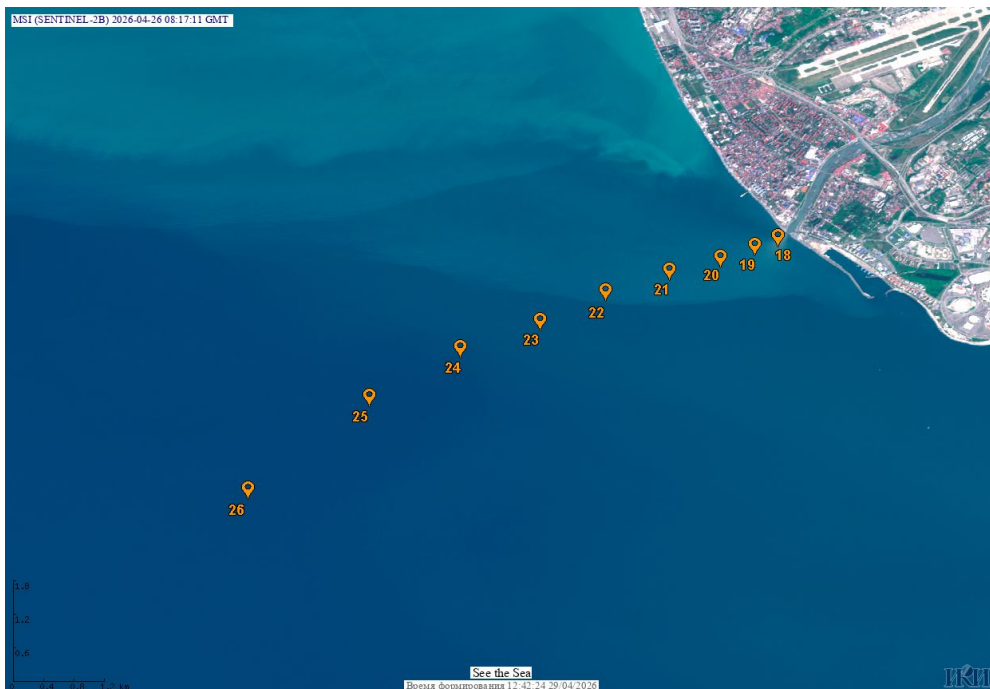


Пространственное распределение поля солёности по данным CTD-зондирования в приповерхностном слое (0,6 м) за 26 апреля 2026г.



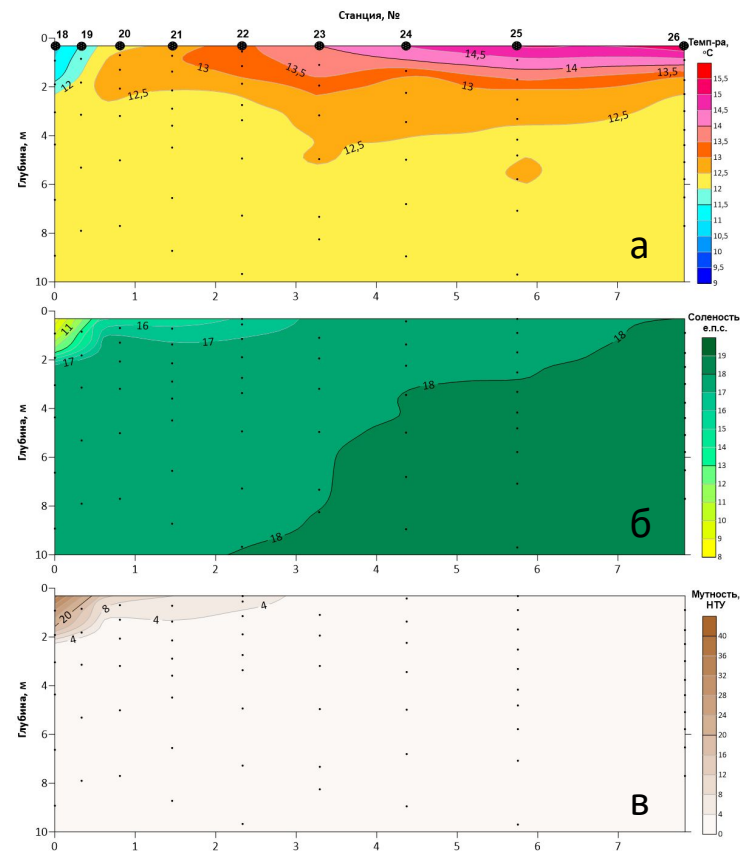
Распределение температуры (а), солёности (б), мутности (в) и концентрации Chl-a (г) на станциях CTD-зондирования продольного разреза № 1 от 26 апреля 2026 г. Устье р. Мзымта расположено напротив станции № 6

Влияние материкового стока на гидрологическую структуру прибрежных вод



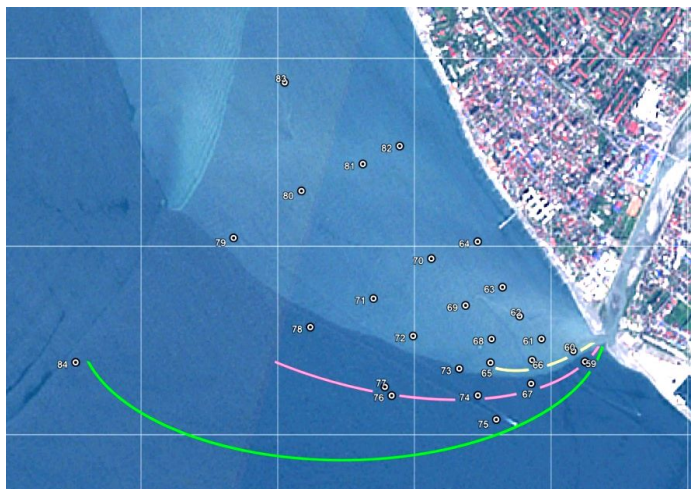
Фрагмент MSI Sentinel-2. 26 апреля 2026г.

- Горизонтальные (поверхностные) масштабы плумов во много раз превышают вертикальные масштабы.
- Глубина интрузии речных вод в прибрежном районе в среднем 2-4 метра и не зависит от горизонтальных размеров плума.

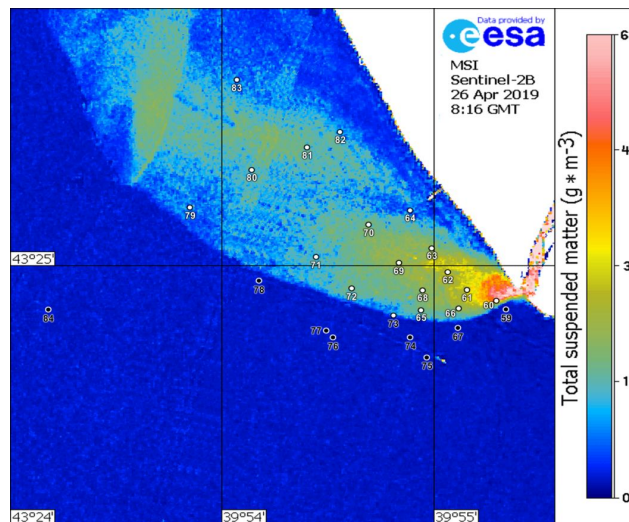


Распределение температуры (а), солёности (б) и мутности (в) на станциях CTD-зондирования поперечного разреза № 4 от 26 апреля 2026 г.

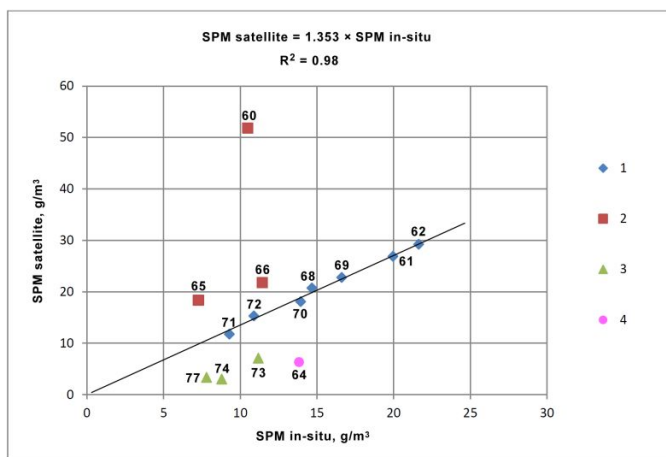
Назирова К.Р., Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Соловьев Д.М., Жук Е.В., Алферьева Я.О. Особенности выявления параметров речного плума контактными и дистанционными методами. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. №2. С. 227–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-227-243.



Положения границы пюма 26 апреля 2019 г.: в 07:30 - 08:00 UTC (желтая линия); в 09:11 – 09:29 UTC (розовая линия) и в 10:30 – 11:00 UTC (зеленая линия), наложенные на изображение MSI Sentinel-2B, полученное в тот же день в 08:27 UTC



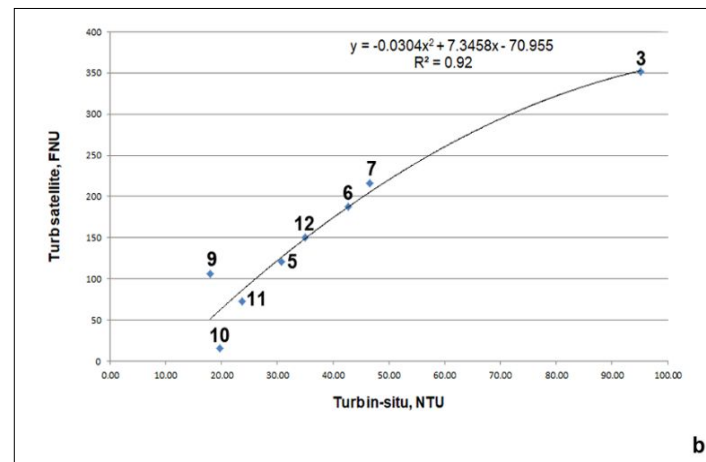
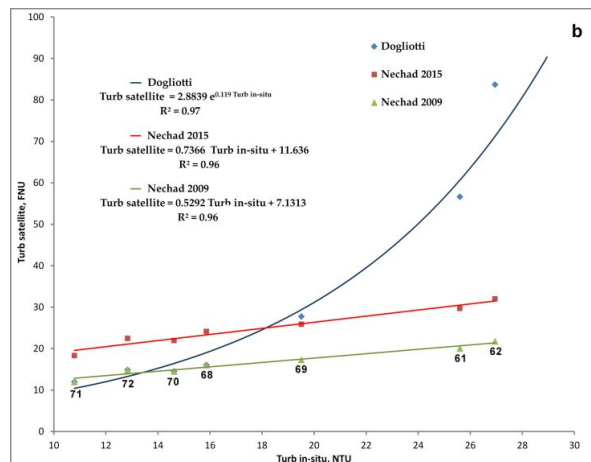
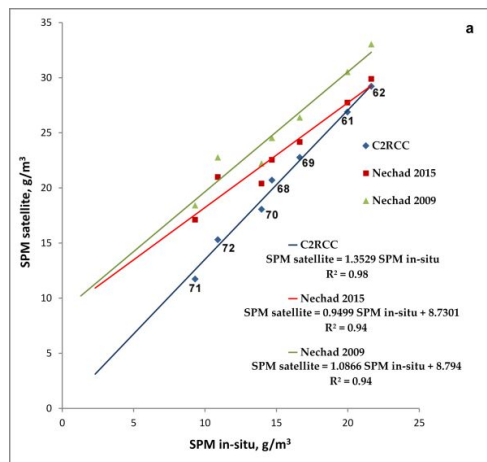
Карта TSM, восстановленная на основе данных MSI Sentinel-2B от 26 апреля 2019 г. с нанесенными на нее положениями станций измерений с судна в этот же день



Массовая концентрация взвеси, определенная по результатам взвешивания (горизонтальная ось) и по спутниковым данным (вертикальная ось).

□ Для значений, выполненных на станциях по времени квазисинхронно с пролетом космического аппарата и заведомо находящихся внутри речного пюма (исключая влияние быстродинамического сдвига границы пюма), была получена высокая статистическая связь ($R^2 = 0.98$). Данные аппроксимируются прямой $M2=1.353M1$.

□ Была подтверждена возможность использования стандартного алгоритма (C2RCC) для восстановления поля мутности в районе р. Мзымта, при условии небольших значений концентрации взвешенного вещества (от 10 до 50 г/м³).

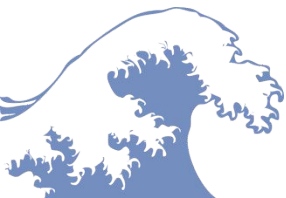


□ **Результаты расчетов концентрации взвешенного вещества C2RCC** лучше всего согласуются с данными натурных измерений ($R^2 = 0,98$).

□ **Для количественной оценки мутности:** алгоритмы *Nechad 2009* и *Nechad 2015* показали неплохие результаты для низкого диапазона мутности ($R^2 = 0,96$). Вблизи устья Мзымты *Dogliotti* завышает мутность при значениях мутности < 100 NTU. Было экспериментально получено, что алгоритм *Dogliotti* применим в периоды паводков для значений мутности от 100 NTU и выше $R^2 = 0.92$.

Результаты опубликованы:

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 Sensing. 2021. V. 13(1). Art. No. 143. <https://doi.org/10.3390/rs13010143>.





Спасибо за внимание!

Назирова Ксения Равильевна
knazirova@cosmos.ru