

Особенности восстановления гидрофизических полей в приустьевой зоне рек контактными и дистанционными методами

Назирова К.Р.(1), Лаврова О.Ю.(1), Алферьева Я.О.(2),
Краюшкин Е.В.(1), Строчков А.Я.(1), Соловьев Д.М.(3)

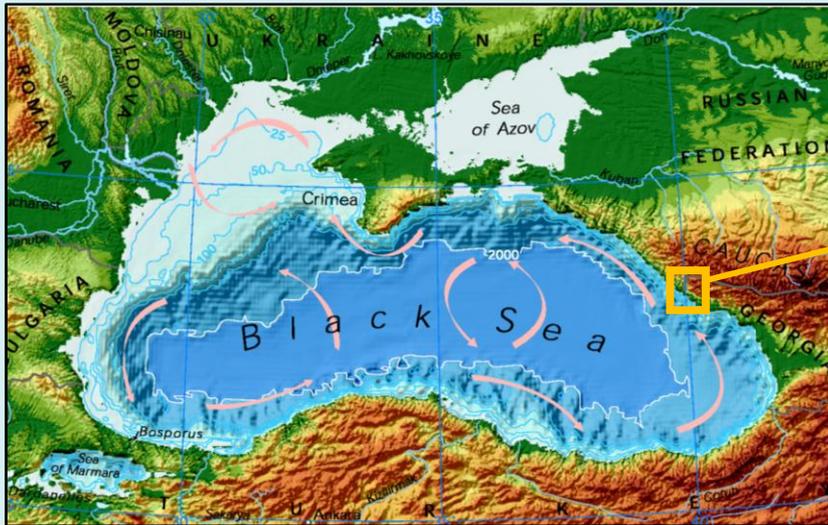
(1) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

(2) МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

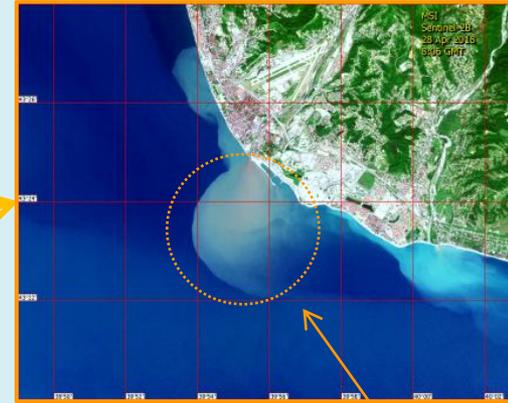
(3) Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия



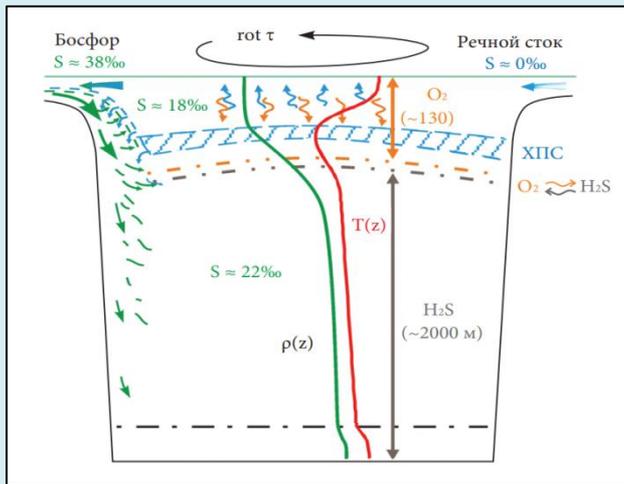
Физическая карта Черного моря.



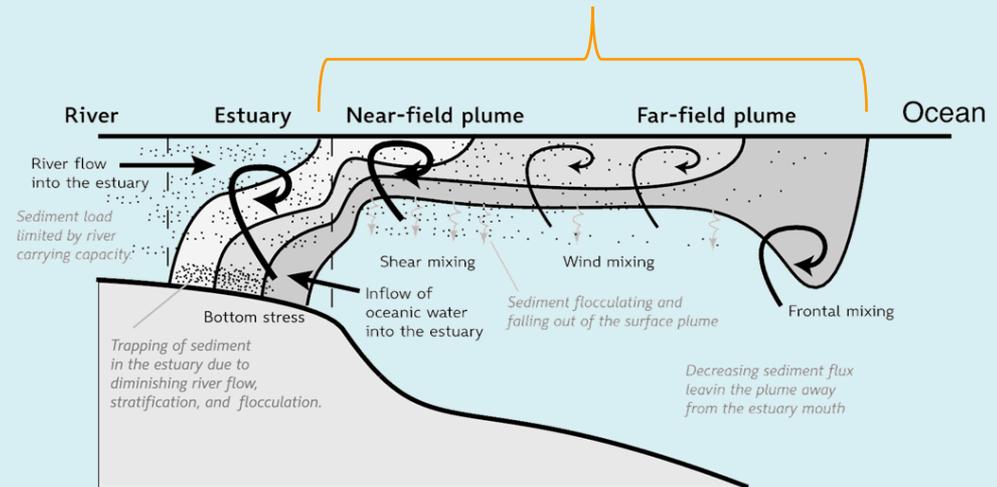
MSI Sentinel-2. Плюм реки Мзымта. 28 Апреля, 2018.



Поверхностное проявление речного плюма



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



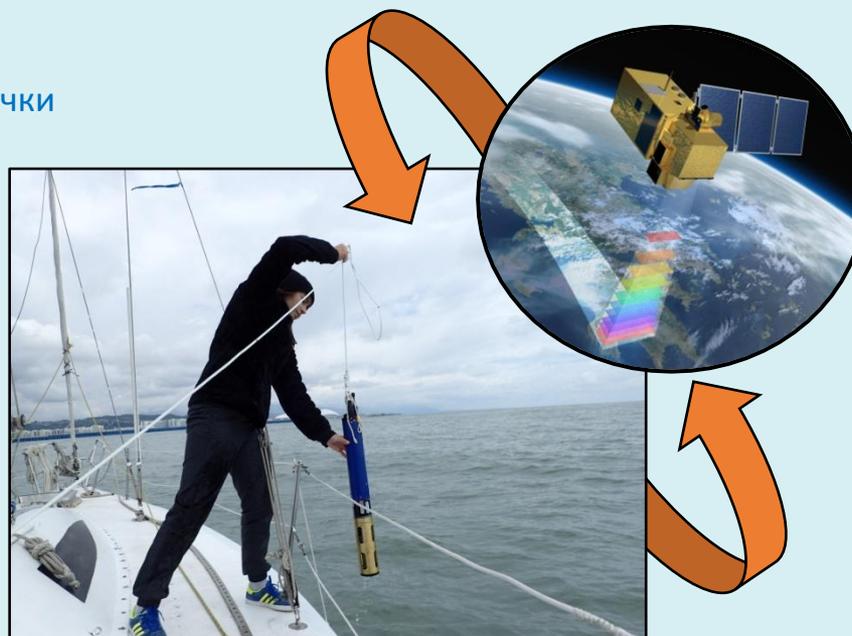
Freshwater and sediment dispersal in large river plumes.
R.D. Hetland, T.J. Hsu

Натурные измерения в 2018 г. и в 2019 г.:

- CTD-зондирование
- ADCP-профилирование
- Отбор морских проб
- Запуск лагранжевых буйев
- Использование термистерной цепочки
- измерение метеопараметров с помощью судовой метеостанции

Спутниковый мониторинг:

- Sentinel-2A/2B (MSI)
- Sentinel-3 (OLCI)
- Landsat-8 (OLI)
- MODIS Terra/Aqua



Комплексный метод исследования

Часть № 1. Результаты экспедиционных исследований в 2018 г.



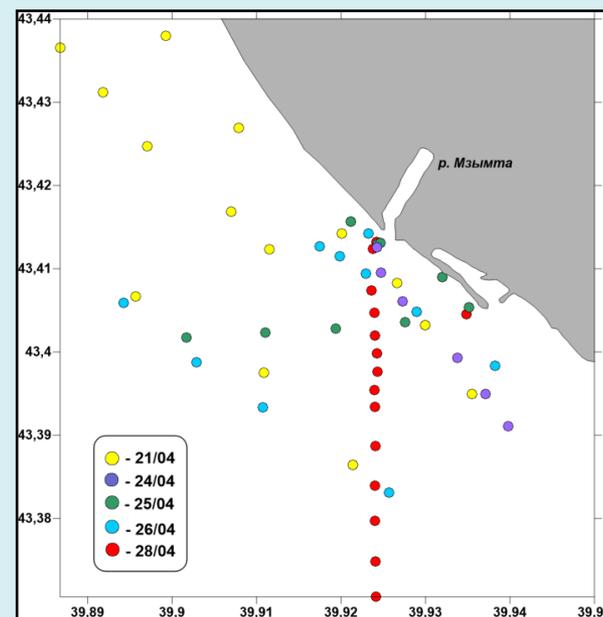
Данные:

- Экспедиция с 21 по 28 апреля 2018 г.
- Спутниковый мониторинг

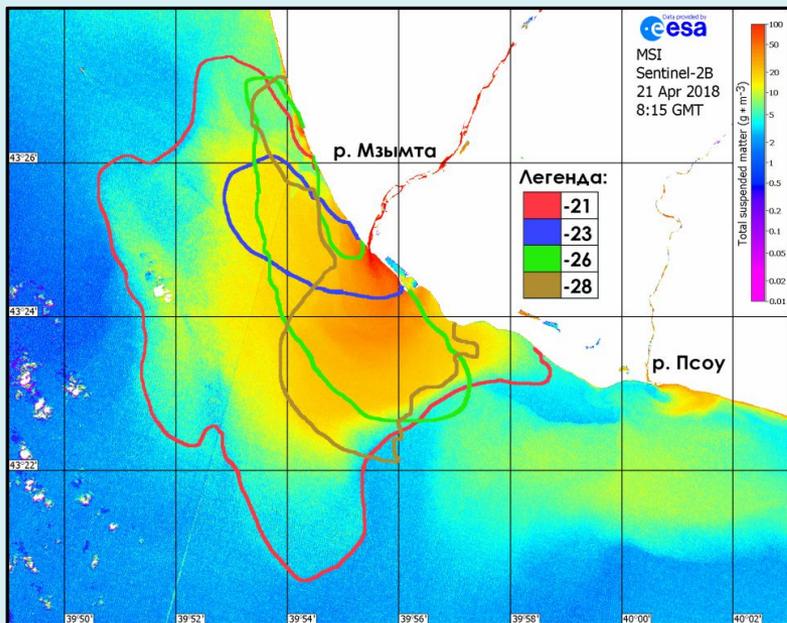
- CTD-зондирования (+ датчик Turb + Chl-a)
- ADCP – профилирование (Work Horse 300Hz)
- Отбор морских и речных проб воды
- Использование термисторной цепочки

Дата	Выход в море	Спутниковые данные	Время спутниковой съемки (GMT)
21.04.18	ДА	MSI (Sentinel 2B)	08:15
		ETM+ Landsat 7	08:08
		SAR-C Sentinel-1A	15:11
22.04.18	НЕТ	OLI Landsat-8	08:00
23.04.18	НЕТ	MSI (Sentinel 2)	08:17
25.04.18	ДА	SAR-C Sentinel-1A	03:32
		OLCI (Sentinel 3)	08:01
26.04.18	ДА	SAR-C Sentinel-1B	03:24
		MSI (Sentinel 2A)	08:26
		SAR-C Sentinel-1A	15:19
27.04.18	НЕТ	SAR-C Sentinel-1B	15:10
28.04.18	ДА	MSI (Sentinel 2B)	08:17
29.04.18	НЕТ	OLI Landsat-8	08:07

- Sentinel-1
- Sentinel-2
- Sentinel-3
- Landsat-7
- Landsat-8



Результаты. Выделение границ плюма

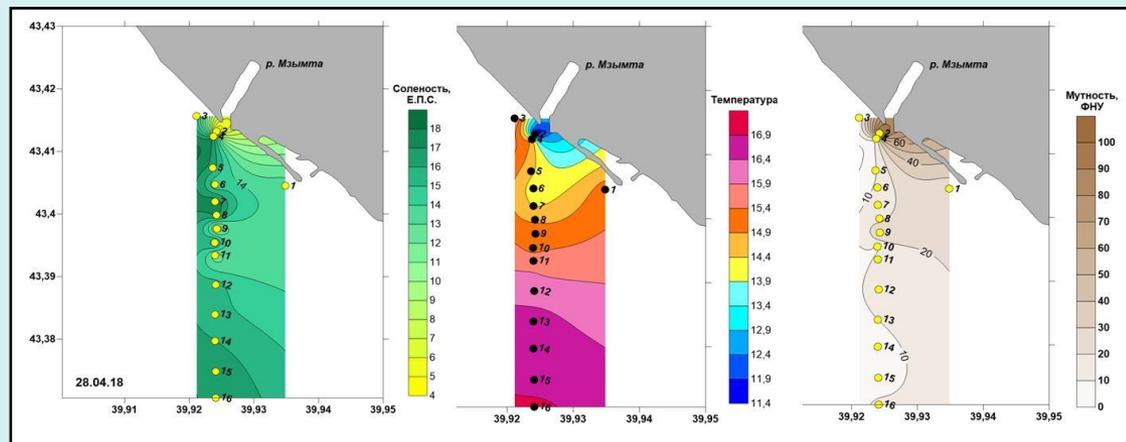


Граница речных и морских вод западнее устья 25 апреля (слева) и 26 апреля (справа) 2018 г.

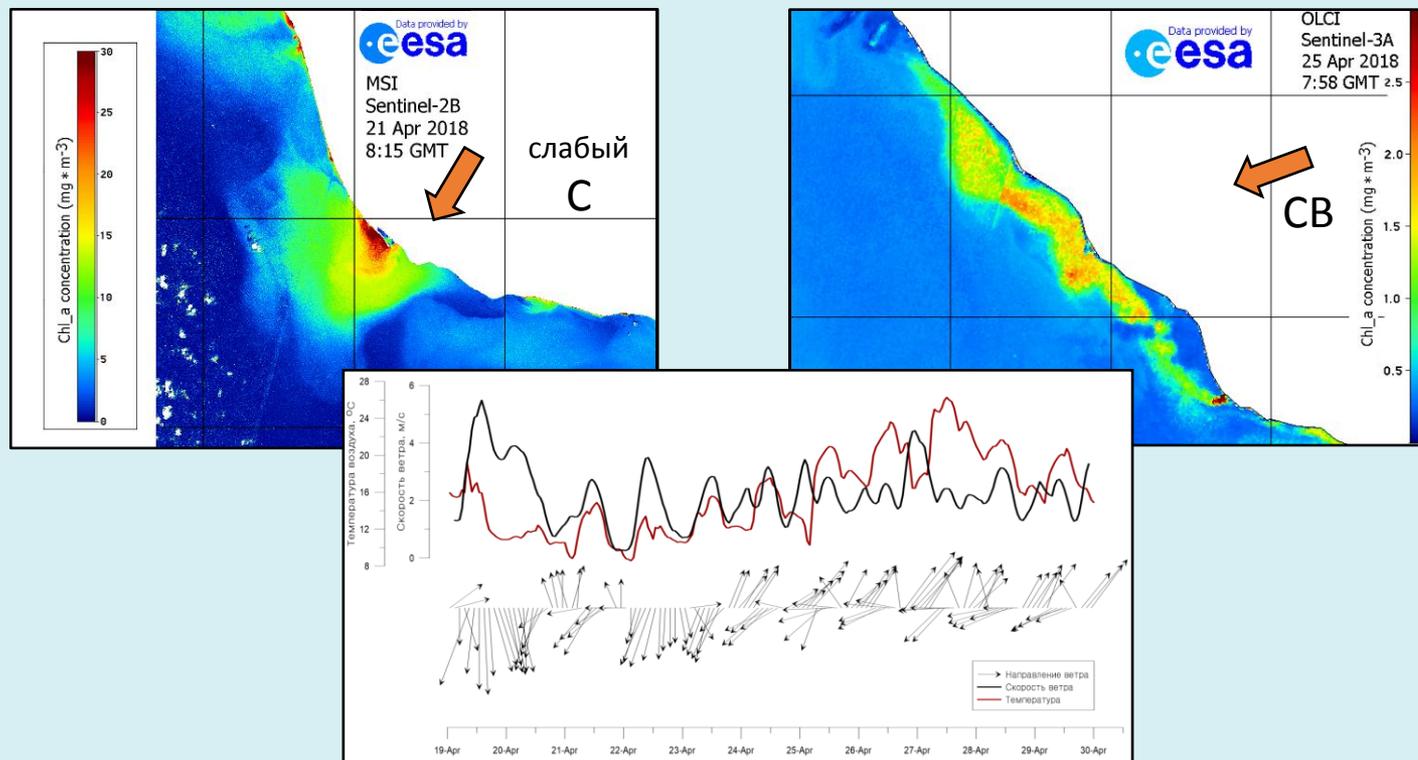
Пространственные распределения полей солености, температуры и мутности по данным CTD-зондирования 28 апреля 2018

Максимальное удаление границы плюма:

- 23 апреля – 1,37 км
- 26 апреля – 2,9 км
- 28 апреля – 4,47 км

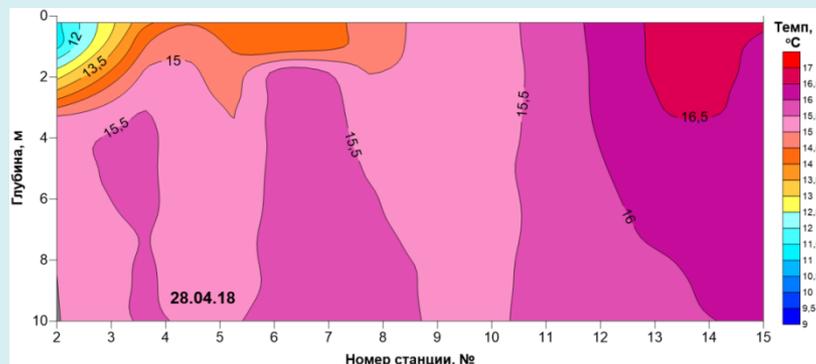


Результаты. Классификация речных плюмов



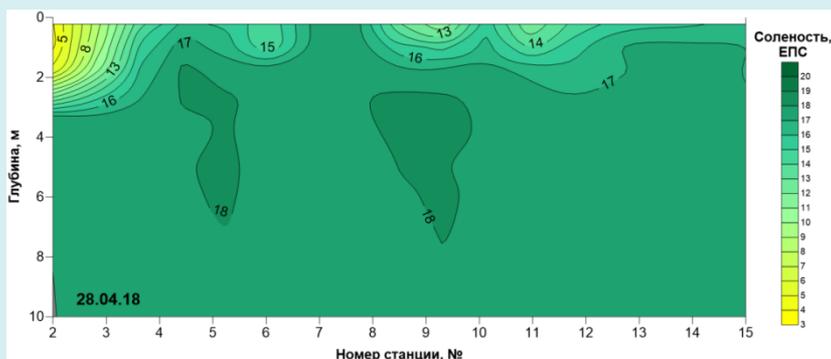
- Плюмы изотропной формы образуются при отсутствии ветра или при слабых ветрах (1-2 м/с). Обладают наибольшей площадью (18,2 км²).
- При сгонных северо-восточных ветрах образуется узкий и сильно вытянутый в юго-западном направлении шлейф малой площади.
- При воздействии юго-западных румбов плюм прижат к берегу и незначительно распространяется в обе стороны от устья.
- В силу морфологических особенностей дна и береговой зоны (наличие наносов в виде песчаной косы слева у устья) наблюдается асимметричность распространения речных вод (в приустьевой области вправо) и прослеживается резкая западная граница плюма.

Результаты. Оценка границы выноса речных вод по глубине



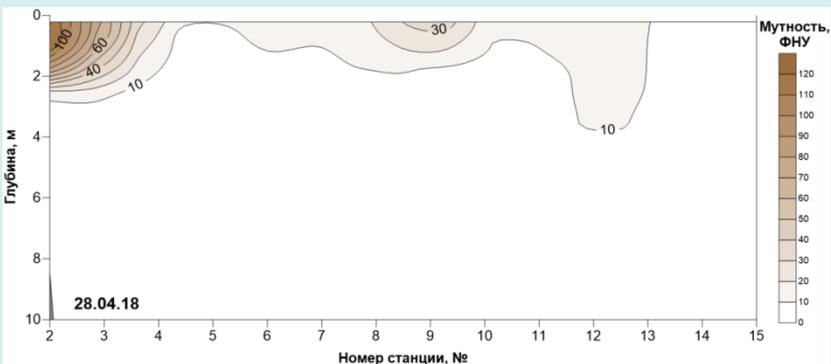
а

Распределение температуры (а),
солености (б), мутности (в) по глубине
на станциях зондирования 28.04.18



б

Параметры	Станция №2 (у устья)		Станция № 4 (200 м от берега)		Станция № 15 (4,38 км от берега)	
	0	5	0	5	0	5
Глубина (м)	0	5	0	5	0	5
Температура (°С)	9	15,5	14	15,5	17	16
Соленость (ЕПС)	3	18	15	18	16	18
Мутность (ФНУ)	105,5	0	20	0	0	0



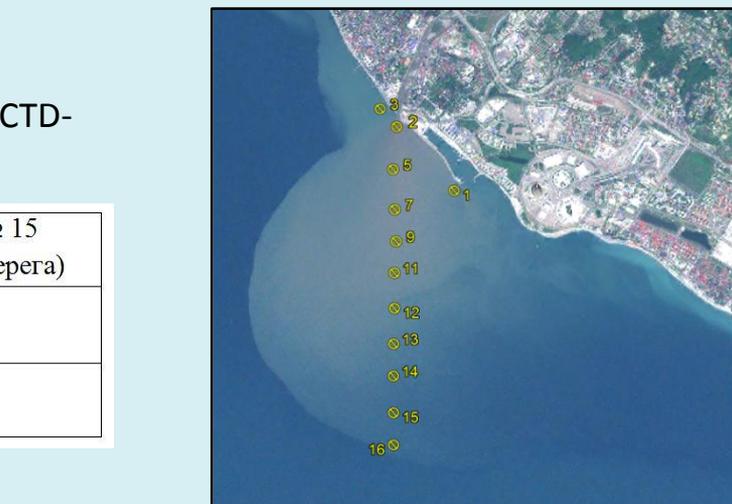
в

Характерные значения температуры, солености и
мутности на разных горизонтах за 28.04.18

Результаты. Сравнительный анализ значений мутности вод на основе ДДЗ и in-situ

Таблица значений мутности в приповерхностном слое по данным STD-зондирований и ДДЗ в реперных точках

Параметры	Станция №1 (у устья)	Станция №4 (200 м от берега)	Станция №15 (4,38 км от берега)
TSM, $g \cdot m^{-3}$ (Satellite)	114	80	15
Turbidity, FNU (CTD)	105,5	20	0



True color изображение с нанесенными станциями STD-зондирования за 28.04.18

Таблица значений основных характеристик в приповерхностном слое по данным STD-зондирований и ДДЗ в реперных точках в период с 25 по 28 апреля 2018 г.

	Температура		Соленость		Мутность				Хлорофилл			
	in-situ		in-situ		in-situ	S2 (MSI)	in-situ	S2 (MSI)	in-situ	S2 (MSI)	in-situ	S2 (MSI)
	°C		PSU		Turb, FNU	TSM, $g \cdot m^{-3}$	Turb, FNU	TSM, $g \cdot m^{-3}$	ODO, mg/L	Chl_a, $mg \cdot m^{-3}$	ODO, mg/L	Chl_a, $mg \cdot m^{-3}$
	Ст. №2	Ст. №7	Ст. №2	Ст. №7	Ст. №2		Ст. №7		Ст. №2		Ст. №7	
25.04	11	15,6	2,65	15,3	22,83	-	3,8	-	10,1	-	8,85	-
26.04	11,9	15,2	4,94	14	45,35	101,6	8	16,64	9,41	19,52	8,8	8,52
28.04	11,3	14,4	3,77	17	105,5	114	15	86,22	9,38	6,64	8,8	18,67

Увеличение мутности в 4 раза!

Завышение значений, малочувствительность

- границы распространения речных вод, определенные по спутниковым изображениям идентифицируются не так однозначно по натурным измерениям. «Поймать» яркую границу плюма, как на изображениях True color, на основе результатов натурных измерений в поле температуры, солености и мутности невозможно
- для "контрастных" изображений в True color («истинный цвет») достаточно тонкого подповерхностного слоя с небольшими величинами мутности (по нашим данным <5 ФНУ)
- «Морфометрические» параметры речного плюма Мзымты имеют четкую классификацию в зависимости от ветрового режима
- несмотря на километровые пространственные (поверхностные) размеры плюма, глубина "интрузии" речных вод составляет не более 3-4 метров для р. Мзымта
- общепринятые рекомендованные алгоритмы пересчета взвешенного вещества по спутниковым данным требуют существенной доработки. При их применении для областей, подверженных речным выносам, отмечается сильное зашумление выходных данных. Они также малочувствительны к различиям на небольших расстояниях при высоких значениях мутности и склонны к завышению истинных значений



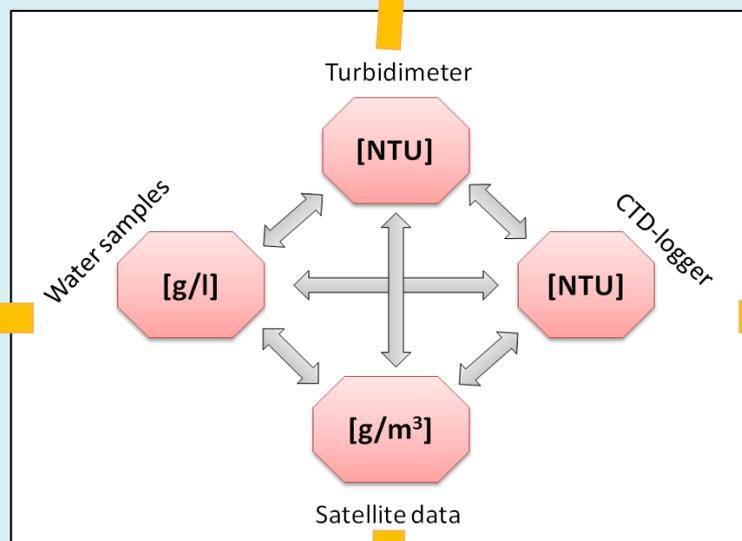
Назирова К.Р. И др. Особенности выявления параметров речного плюма контактными и дистанционными методами. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. т. 16. № 2. с. 227–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-227-243.

Мотивация проведения экспедиционных работ в 2019 г.

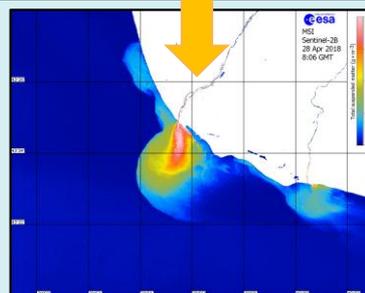
Портативный мутномер
Apera Instruments TN400



Вакуумная установка
для фильтрации
морских проб воды

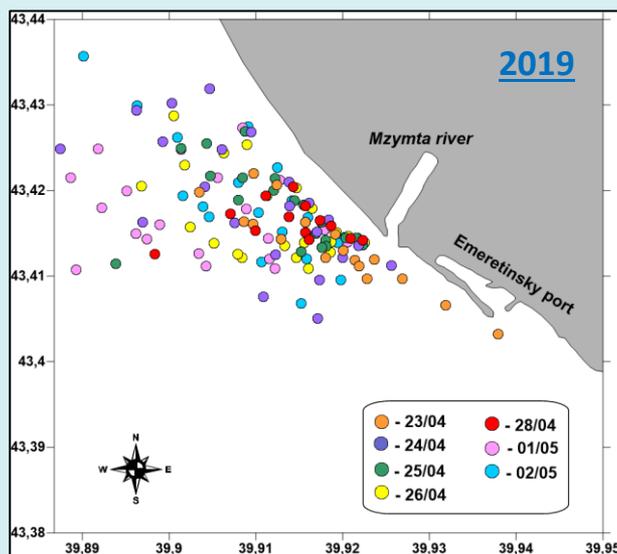


Датчик мутности в составе
гидрологического зонда
фирмы RBR



Sentinel-2 (MSI).
Total Suspended Matter.

Часть № 2. Результаты экспедиционных исследований в 2019 г.



Карта-схема расположения гидрологических станций в экспедиции 2019г. (22 Апреля – 4 Мая)

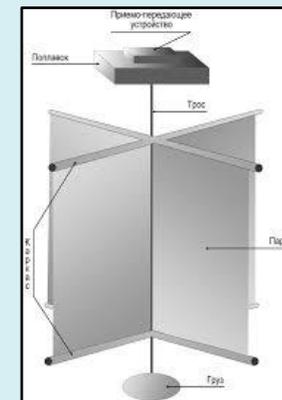
Измерения in-situ :

- The RBR-concerto multi-channel logger (+ turbidity and fluorescence sensors)
- TN400 Portable Turbidity Meter
- Отбор и фильтрование морских проб
- Запуск лагранжевых буев



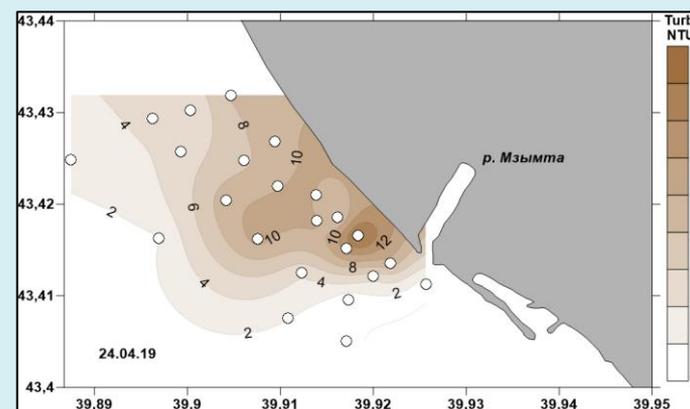
Спутниковый мониторинг:

- Sentinel-2 (MSI)
- Sentinel-3 (OLCI)
- И другие... Modis Aqua, Landsat-7/8



Основные задачи экспедиционных работ:

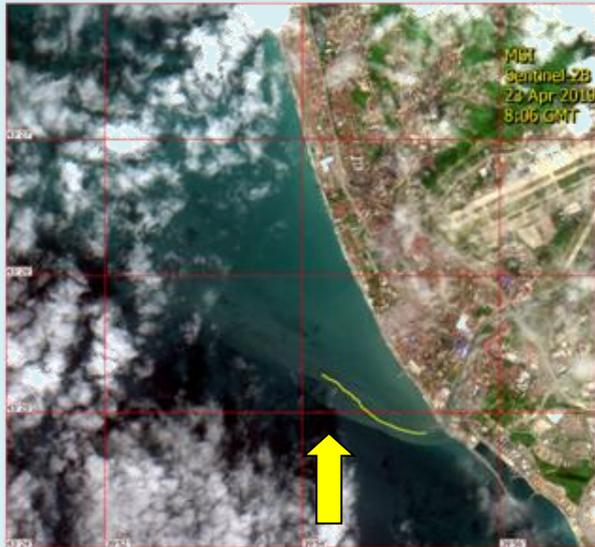
1. Изучение гидрологической структуры прибрежных вод
2. Восстановление поля мутности прибрежных вод
3. Сравнение количественных данных полученных со спутников и измерений in-situ



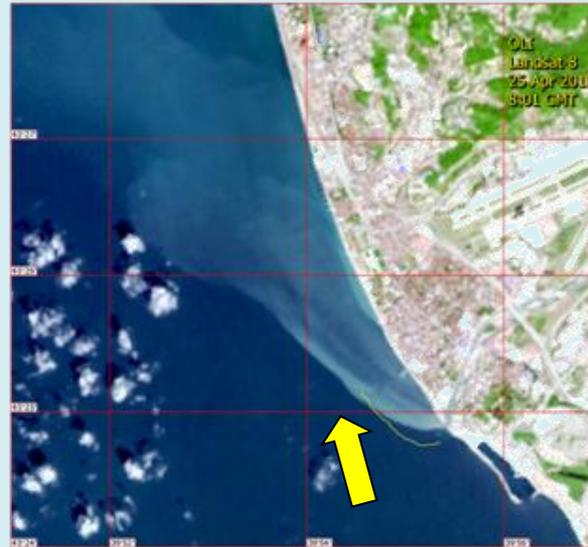
Карта поверхностного распределения мутности морской воды по данным портативного мутномера за 24 апреля 2019г.

- Была проведена оценка скорости изменения положения границы плюма

На изображениях True Color жёлтой линией нанесён GPS-трек вдоль границы речного плюма спустя 3 часа после пролёта спутников. Желтой стрелкой указано направление преобладающих румбов в течение этого времени.



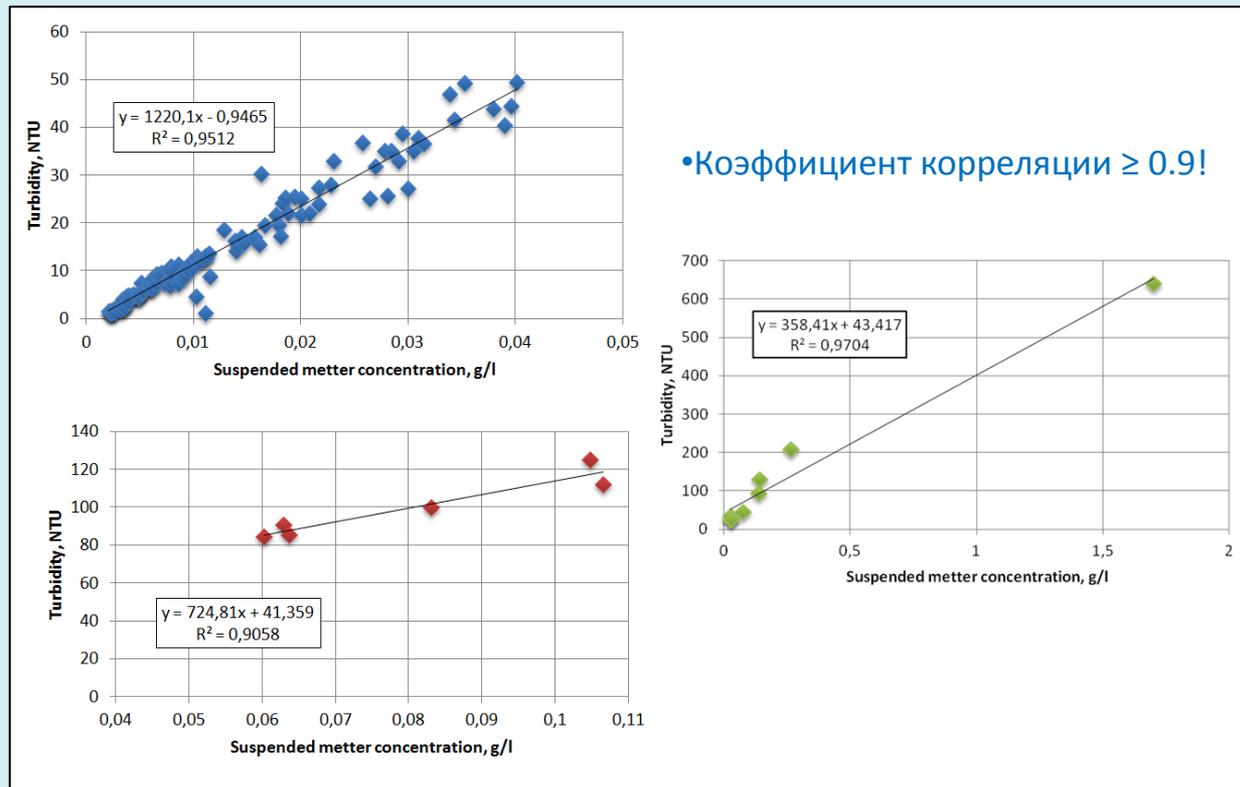
23 апреля граница плюма оказалась на 250-300 м больше прижатой к берегу. Скорее всего, это было связано с южными румбами (средняя скорость ветра: 3-4 м/с).



25 апреля факел речного плюма слегка прижат, а в приустьевой зоне граница сместилась на 350 метров мористее. В этот день преобладали SSE-румбы.



26 апреля наблюдалось максимальное смещение границы плюма – на 800–900 метров дальше от берега. Это может быть связано с западными румбами и увеличением расхода реки.



Диаграммы рассеяния по результатам измерений портативным мутномером и взвешенных морских проб.

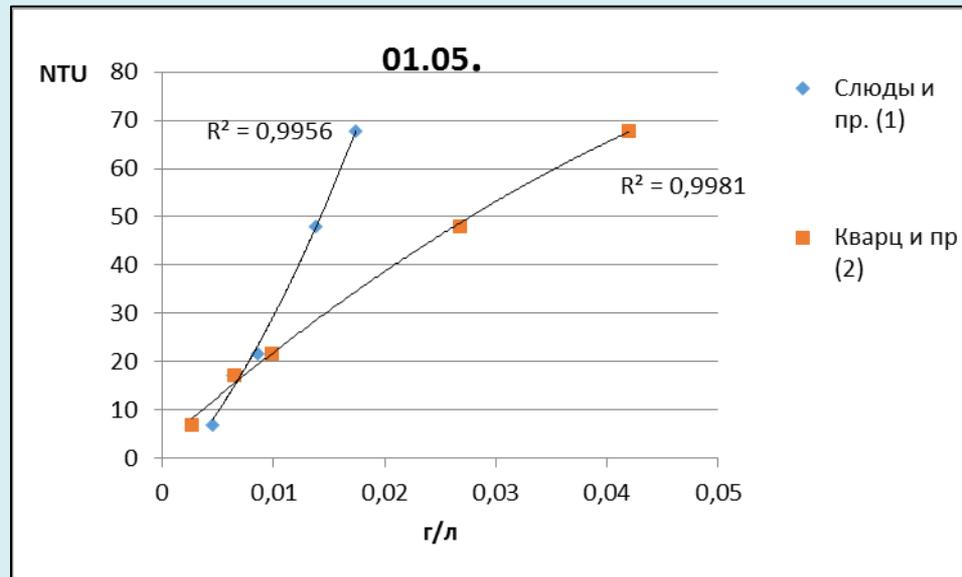
Всё поле данных разделено на три кластера в зависимости от массы взвешенного вещества.

На первой диаграмме **синие точки** соответствуют малым значениям массы $\leq 0,05$. График показывает, что значения мутности также невелики. **Красные точки** соответствуют значениям массы от 0,05 до 0,11 г/л. Эти пробы воды были взяты вблизи устья реки в период увеличения расхода реки из-за таяния ледников. И, наконец, **зеленые точки** на третьем графике соответствуют значениям мутности в пробах реки.

Все минеральные фазы можно условно поделить на 2 основные группы:

1) Высокоглиноземистые минералы. В эту группу входят слюды, гидрослюды, глинистые минералы, хлорит. Для них характерна относительно низкая твердость и низкая плотность. За счет этого они легко разрушаются, формируют тонкообломочный материал и переносятся водой на значительные расстояния.

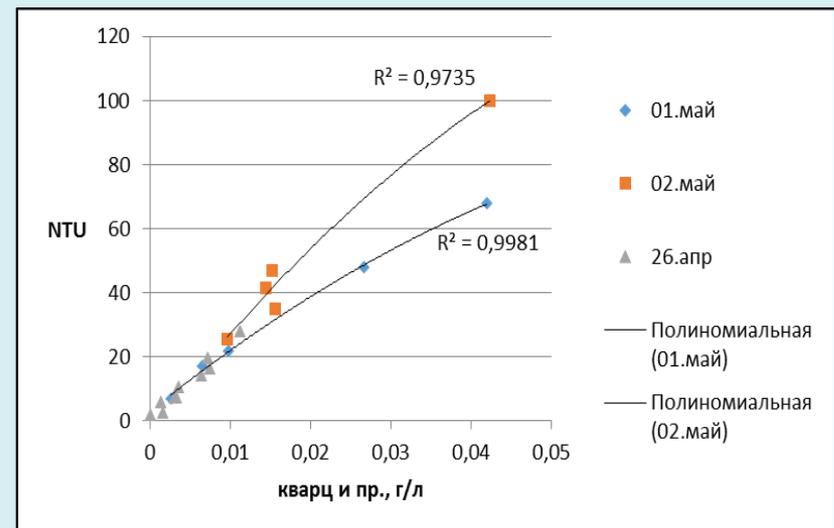
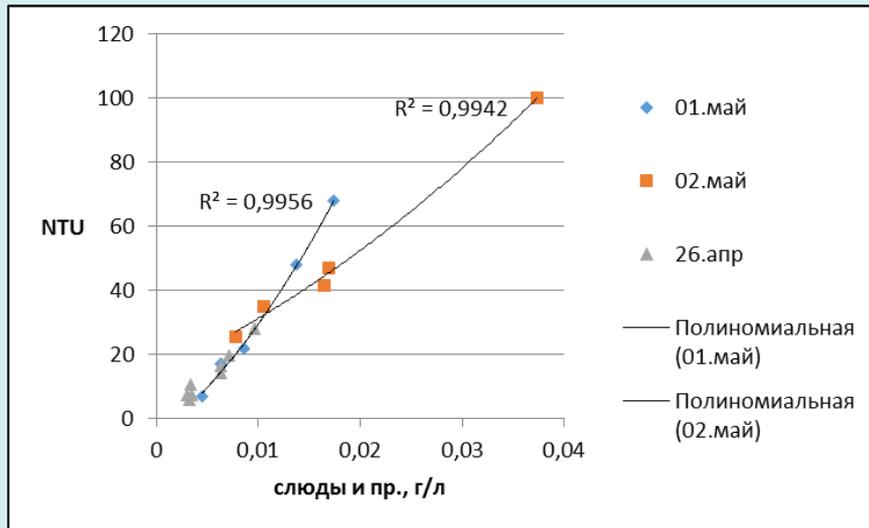
2) Высококремнистые минералы. В эту группу входят кварц, К-На полевой шпат и плагиоклаз. У них выше твердость и плотность. При механическом разрушении и выветривании из них образуется более грубообломочный материал, который преимущественно откладывается недалеко от устьев рек.



Содержания высокоглиноземистого (1) и высококремнистого (2) материала в пробах в зависимости от NTU

Часть № 3. Результаты рентгенофазового анализа образцов

Было зафиксировано изменение трендов минерального состава в пробах, отобранных после выпадения осадков (2 мая).



При одинаковом значении NTU пробы от 02.05. имеют более глиноземистый состав, чем пробы от 01.05.

Что в свою очередь может служить причиной общеизвестного резкого увеличения значений мутности после выпадения осадков.

Спасибо за внимание!

Ксения Назирова
knazirova@cosmos.ru