



**Результаты подспутниковых экспериментов 2018-2019 гг. в приустьевой зоне р. Мзымта. Восстановление поля мутности натурными и дистанционными методами.**

ИКИ РАН  
Исследование Земли из космоса  
Аэрокосмическая радиолокация

Назирова Ксения  
knazirova@cosmos.ru

- **Мутность воды** – оптический показатель прозрачности морской воды, обусловленный наличием органических и неорганических взвесей.
- **Мутность морской воды** - наиболее удобная характеристика прибрежных вод для выделения границ речного плюма.



GRAVEL



SAND



SILT

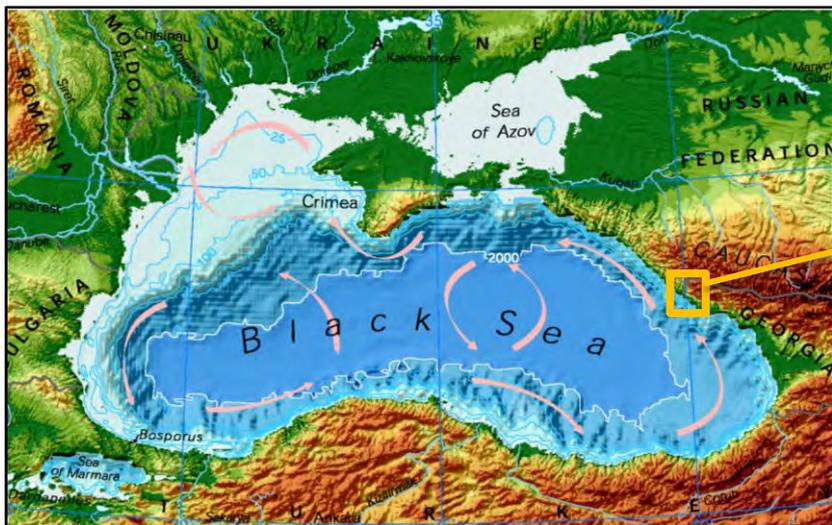


CLAY

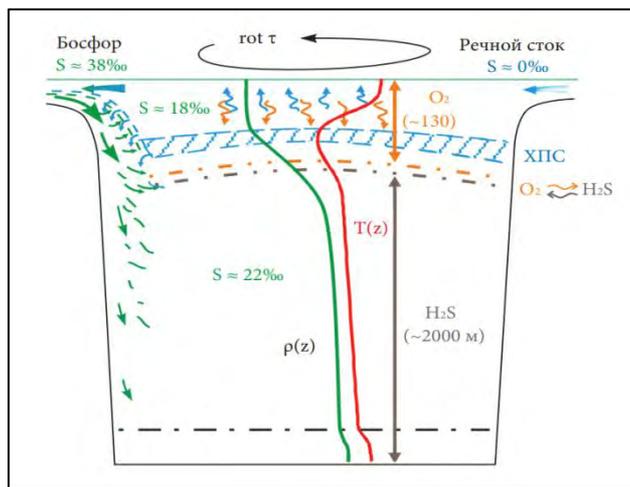


ALGAE

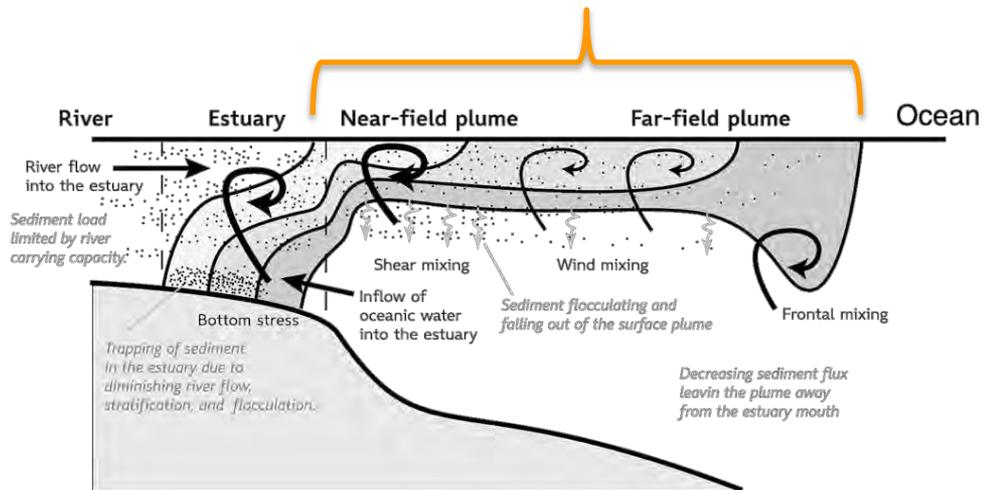
MSI Sentinel-2. Плюм реки Мзымта. 28 Апреля, 2018.



Поверхностное проявление речного плюма



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

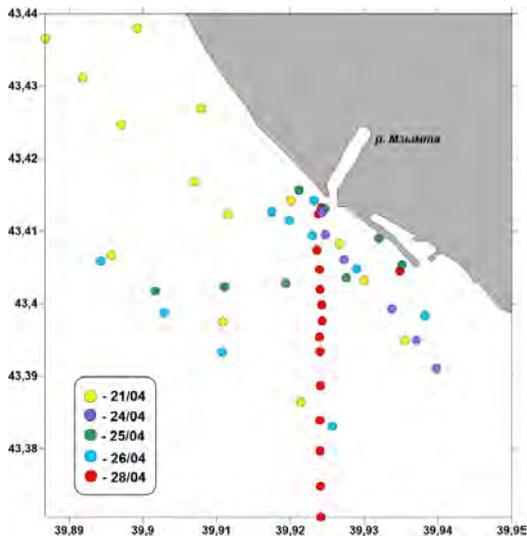


Freshwater and sediment dispersal in large river plumes.  
R.D. Hetland, T.J. Hsu

## Экспедиционные работы 2018 г. (с 21 по 28 апреля 2018 г.)

### Основные задачи:

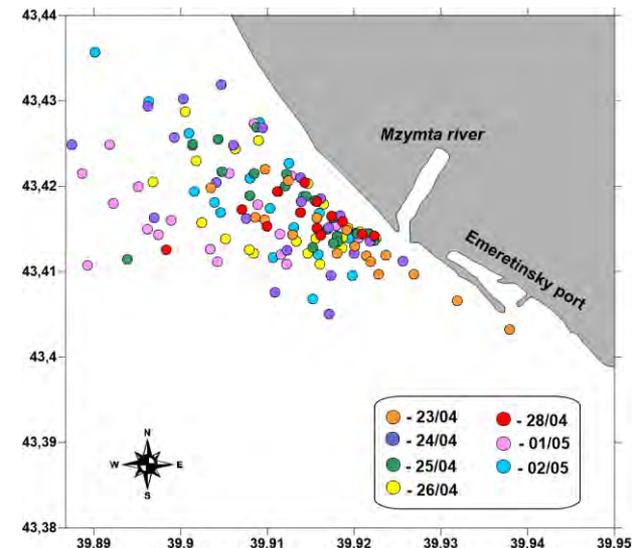
1. Исследование влияния динамических процессов и ветрового воздействия на транспорт речного плюма
2. Изучение трехмерной структуры речного плюма Мзымты
3. Верификация количественных данных спутникового зондирования по данным натурных измерений



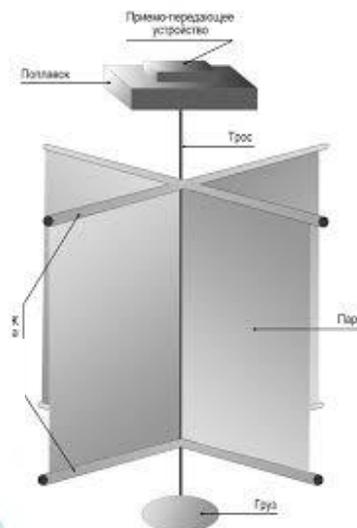
## Экспедиционные работы 2019 г. (с 22 апреля по 4 мая 2019 г.)

### Основные задачи:

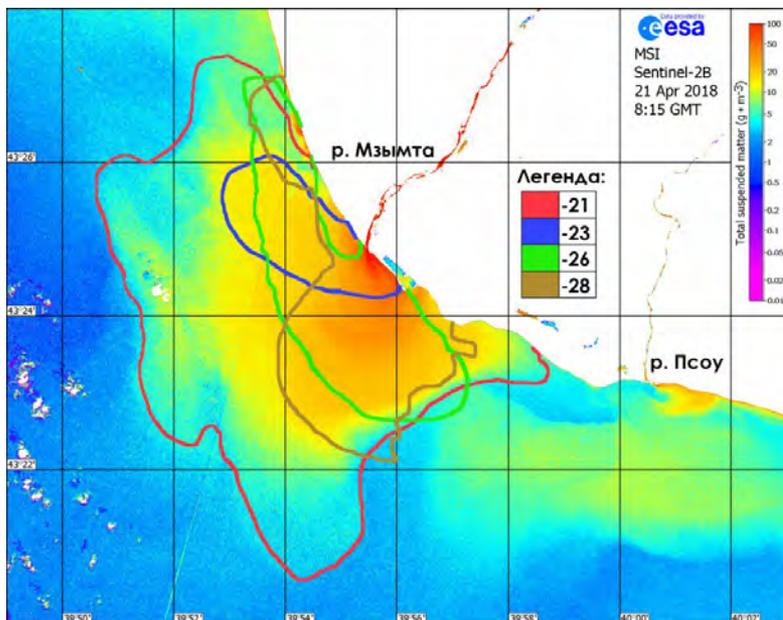
1. Изучение гидрологической структуры прибрежных вод
2. Восстановление поля мутности прибрежных вод
3. Сравнение количественных данных полученных со спутников и измерений in-situ



# Проведение подспутниковых измерений. Состав приборной базы ИКИ РАН



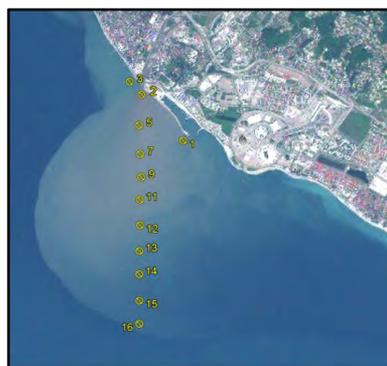
# Результаты. Выделение границ плюма



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

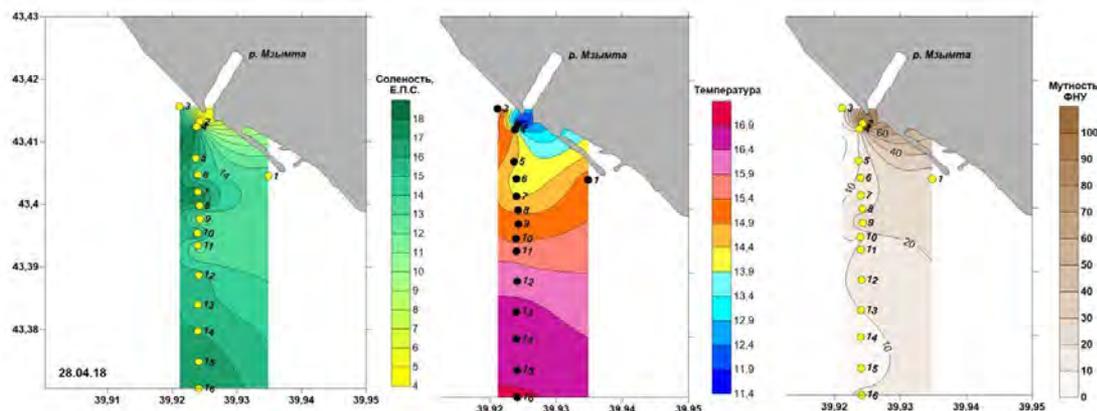
Максимальное удаление границы плюма:

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

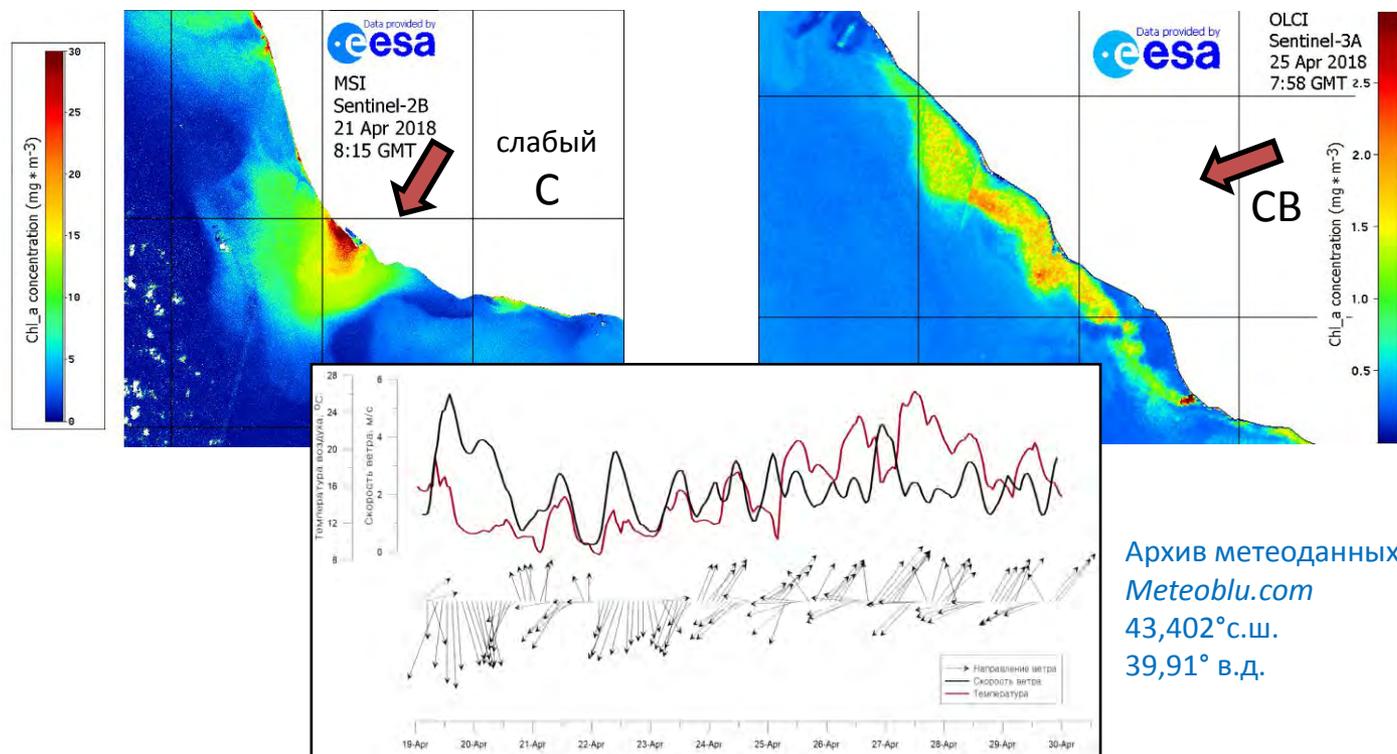


True color изображение с нанесенными станциями CTD-зондирования за 28.04.18

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

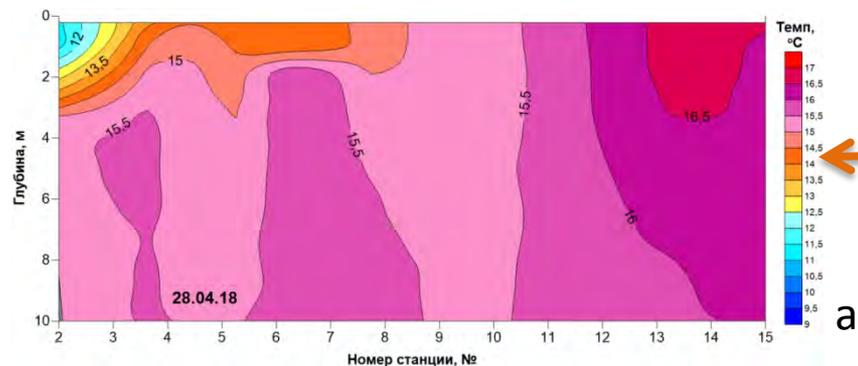


# Результаты. Классификация речных плумов

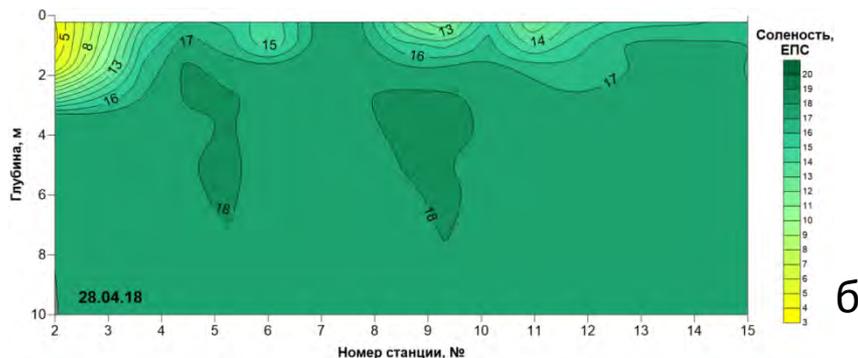


- **Плюмы изотропной формы** образуются при отсутствии ветра или при слабых ветрах (1-2 м/с). Обладают наибольшей площадью (18,2 км<sup>2</sup>).
- **При сгонных северо-восточных ветрах** образуется узкий и сильно вытянутый в юго-западном направлении шлейф малой площади.
- При воздействии **юго-западных 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.

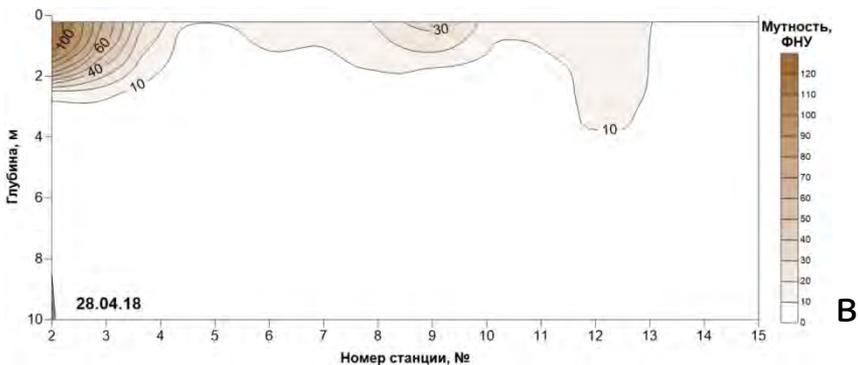
# Результаты. Оценка глубины интрузии речных вод



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



Параметры	Станция №2 (у устья)		Станция № 4 (200 м от берега)		Станция № 15 (4,38 км от берега)	
	Глубина (м)	0	5	0	5	0
Температура (°C)	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

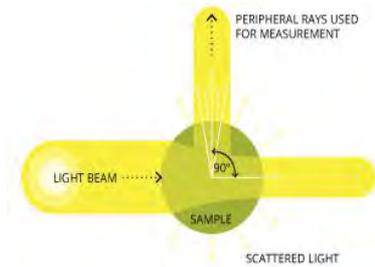


Характерные значения температуры, солености и  
мутности на разных горизонтах за 28.04.18

# Методы восстановления поля мутности морской воды

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

Портативный мутномер  
Apera Instruments TN400



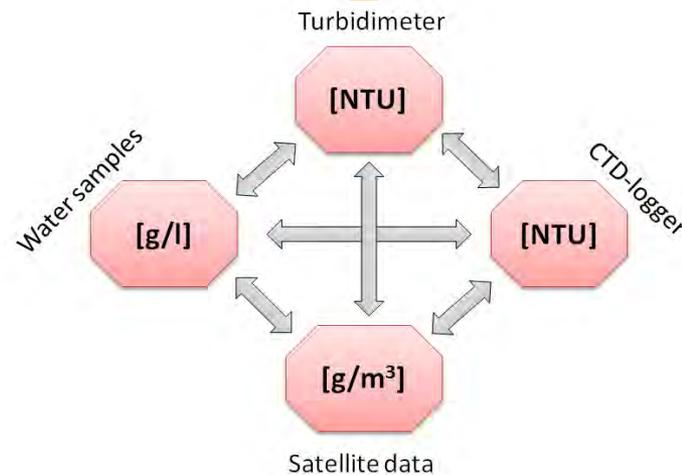
Вакуумная установка  
для фильтрации  
морских проб воды



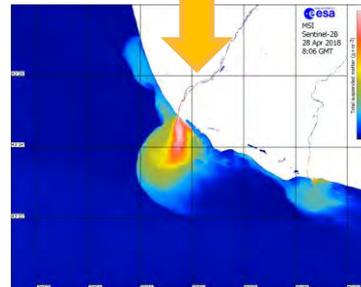
Lafil 400-LF30

Весовой метод анализа проб

«спектральные величины яркости  
восходящего излучения на верхней  
границе атмосферы»



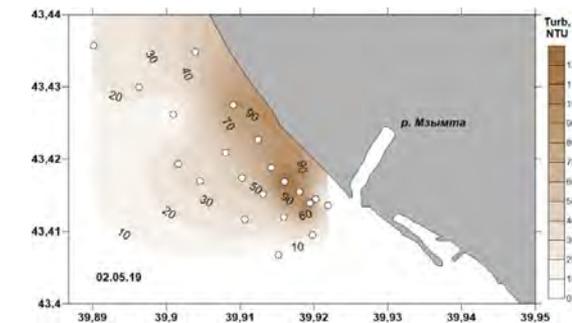
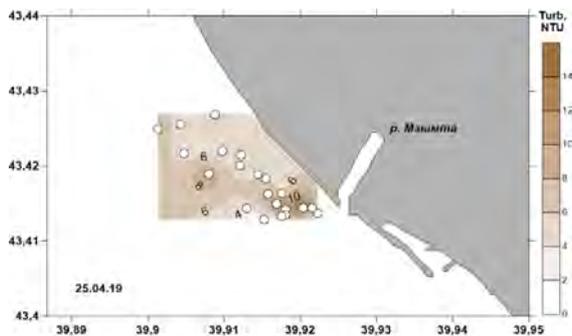
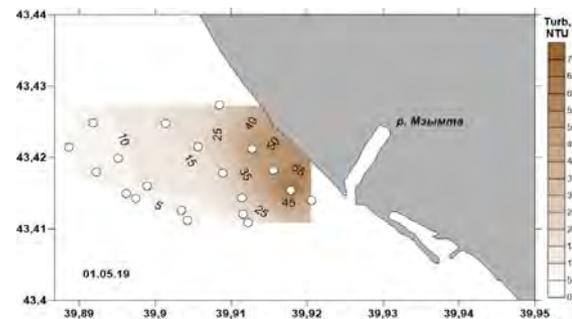
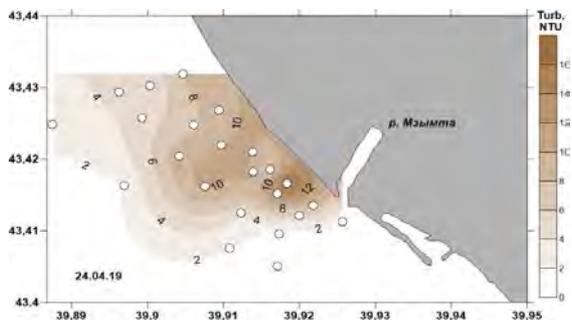
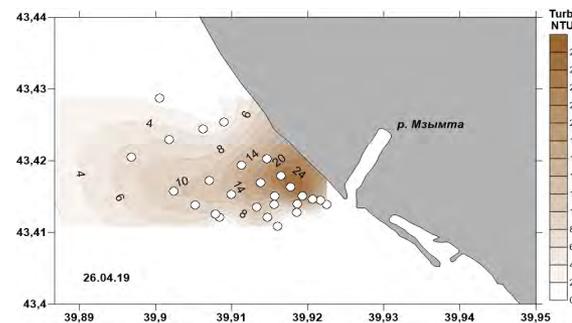
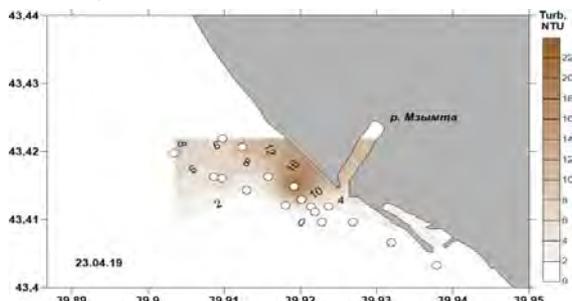
Датчик мутности в составе  
гидрологического зонда  
фирмы RBR



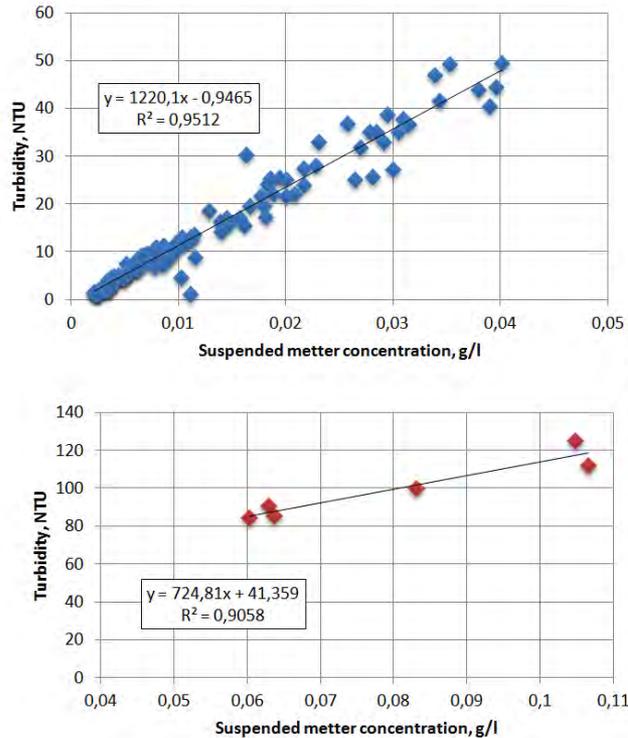
Sentinel-2 (MSI).  
Total Suspended Matter.

# Методы восстановления поля мутности морской воды

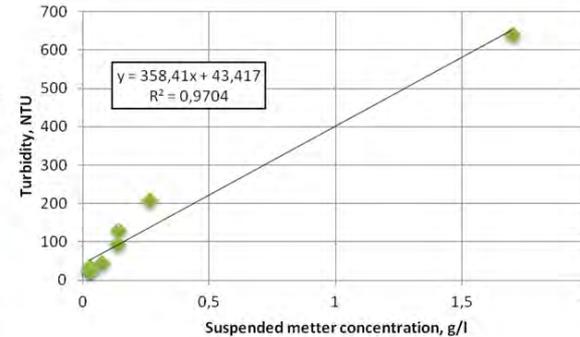
- Карты поверхностного распределения мутности морской воды по данным портативного мутномера в период экспедиционных работ 2019 г.



# Корреляционный анализ результатов натуральных измерений



• Коэффициент корреляции  $\geq 0.9$ !

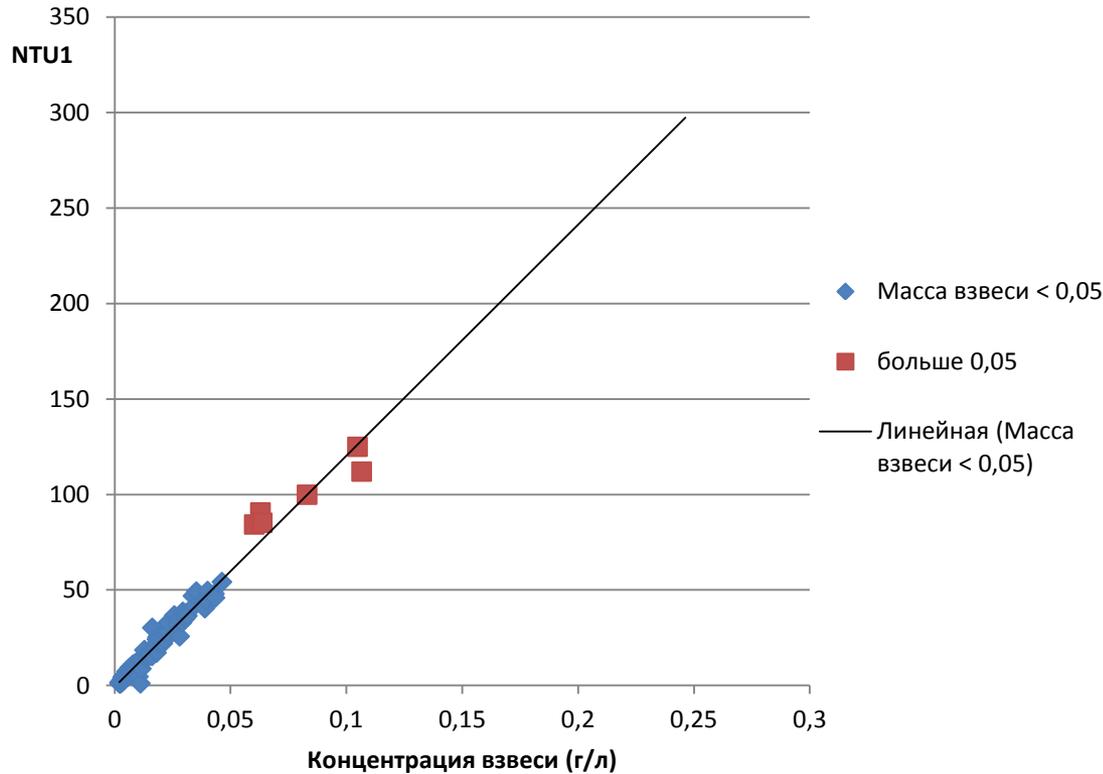


*Диаграммы рассеяния по результатам измерений портативным мутномером и взвешенных морских проб.*

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.

# Корреляционный анализ результатов натуральных измерений



• Установлена корреляция между значениями мутности проб воды (NTU) и массовой концентрацией взвеси в пробах (C). В пробах с содержанием взвеси до 0,05 г/л отмечается простая линейная зависимость между этими величинами, описываемая уравнением  $NTU = 1197 * C - 0,7$ .

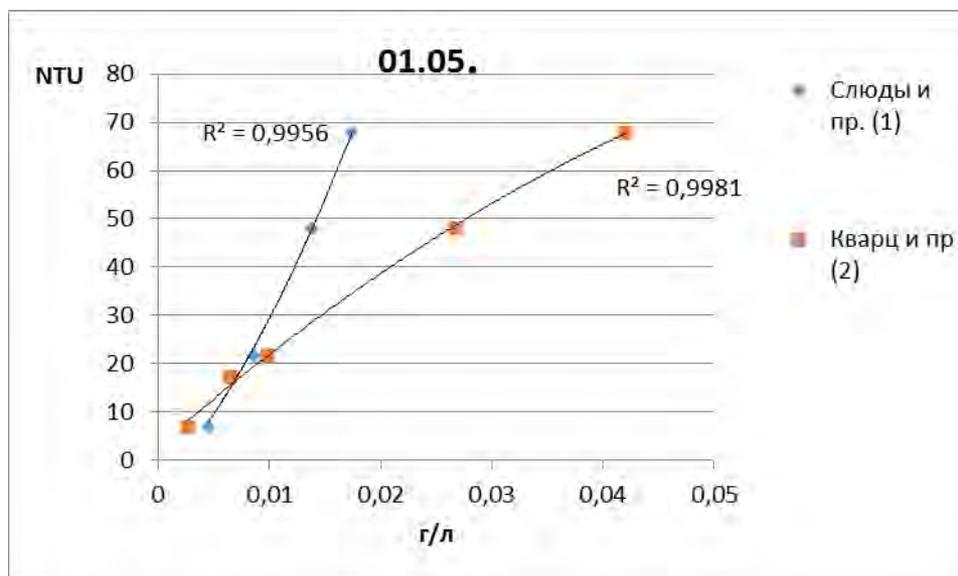
• При увеличении количества взвеси наблюдаются отклонения от линейной зависимости, как правило выраженные в занижении значений NTU.

# Результаты рентгенофазового анализа образцов

Все минеральные фазы можно условно поделить на 2 основные группы:

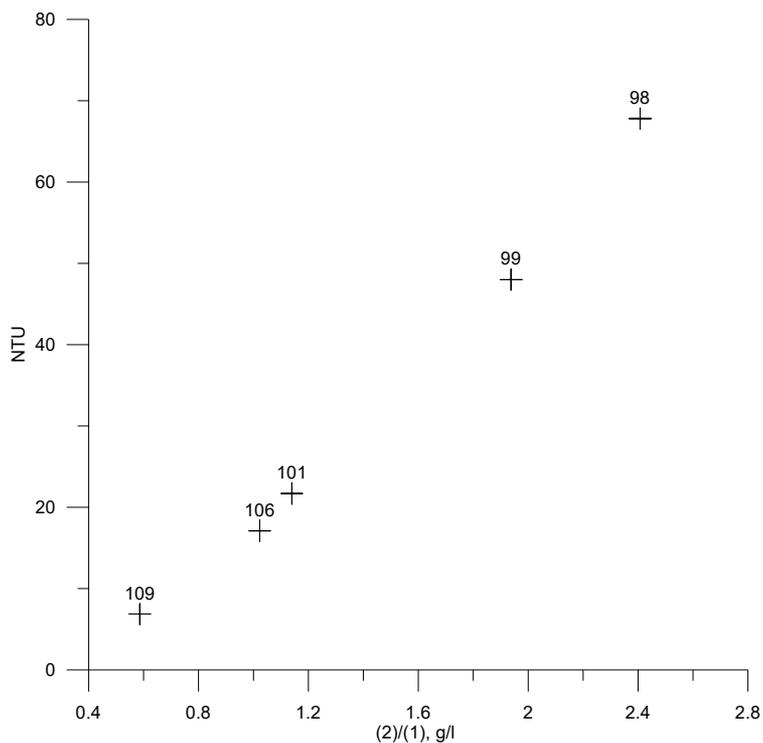
1) **Высокоглиноземистые минералы.** В эту группу входят *слюды, гидрослюды, глинистые минералы, хлорит*. Для них характерна относительно низкая твердость и низкая плотность. За счет этого они легко разрушаются, формируют тонкообломочный материал и переносятся водой на значительные расстояния.

2) **Высококремнистые минералы.** В эту группу входят *кварц, K-Na 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*

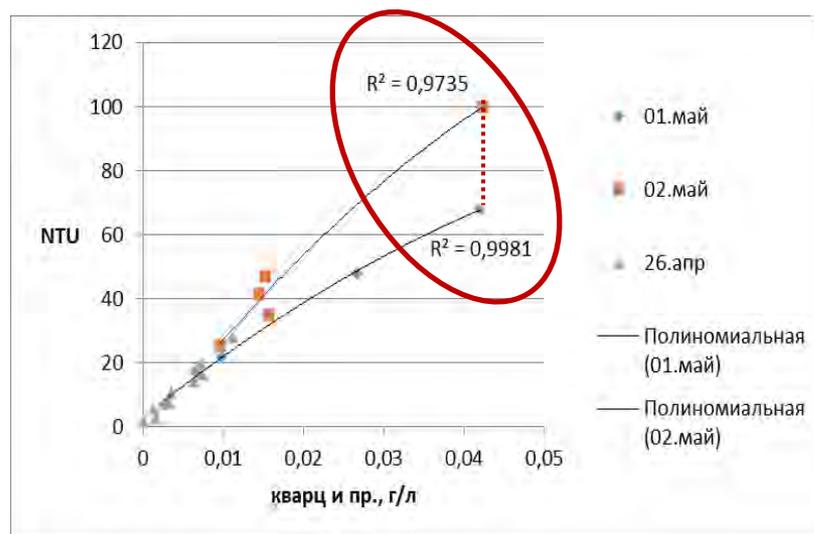
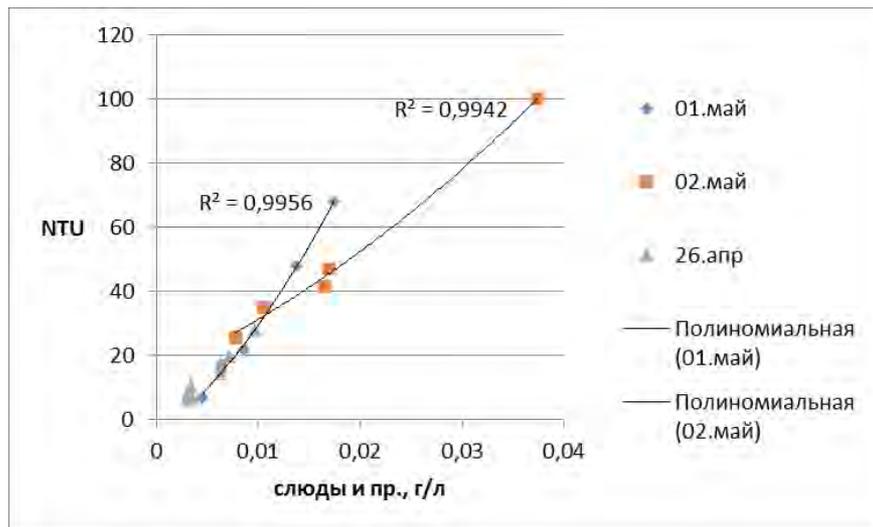
## Закономерности изменения суммарного количества алевритового и глинистого материала в зависимости от оптических показателей мутности проб



- в наиболее мутных пробах отмечаются наибольшие значения отношения содержания высококремнистых минералов группы (2) к высокоглиноземистым минералам группы (1)
- увеличение мутности сопровождается относительным ростом алевритовой и уменьшением глинистой составляющей в взвеси. Таким образом показана возможность оценки фазового состава взвеси на основании оптических характеристик.

# Результаты рентгенофазового анализа образцов

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



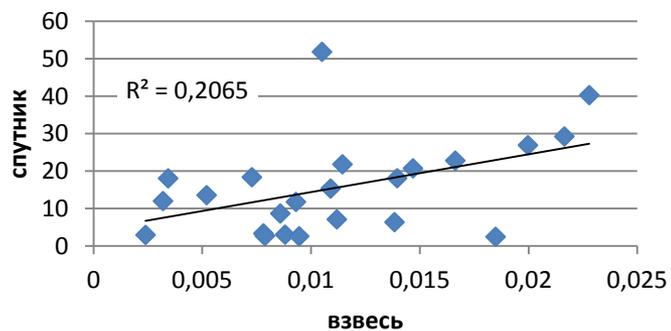
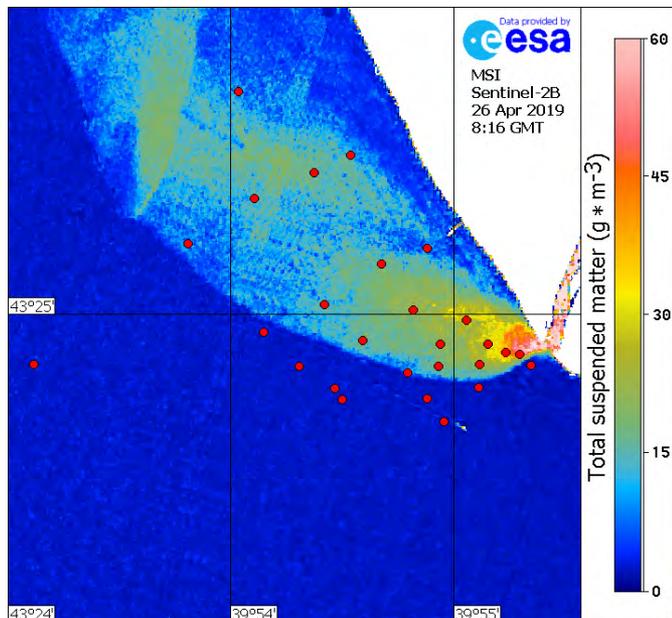
При одинаковом значении NTU пробы от 02.05. имеют более глиноземистый состав, чем пробы от 01.05.



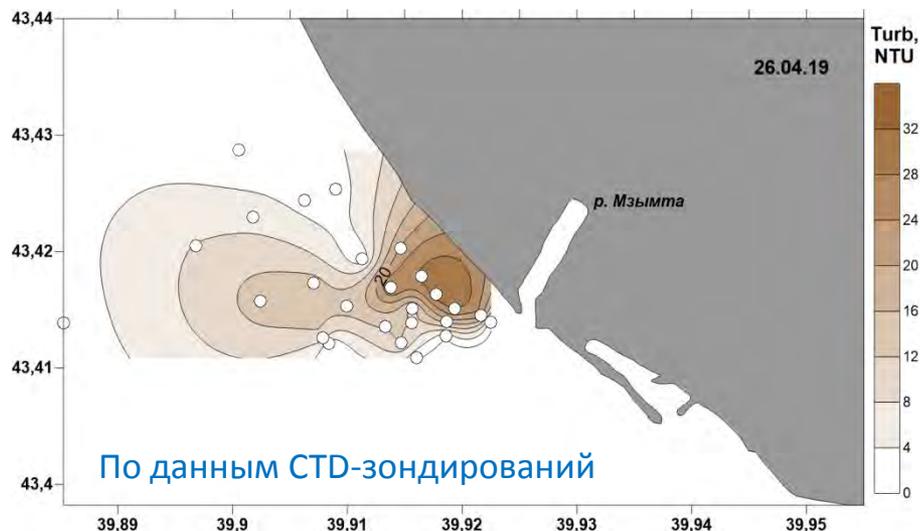
Что в свою очередь может служить причиной общеизвестного резкого увеличения значений мутности после выпадения осадков (за счет большего количества мелкодисперсных частиц).

# Оценки количественных данных поля мутности, полученные дистанционными и натурными методами

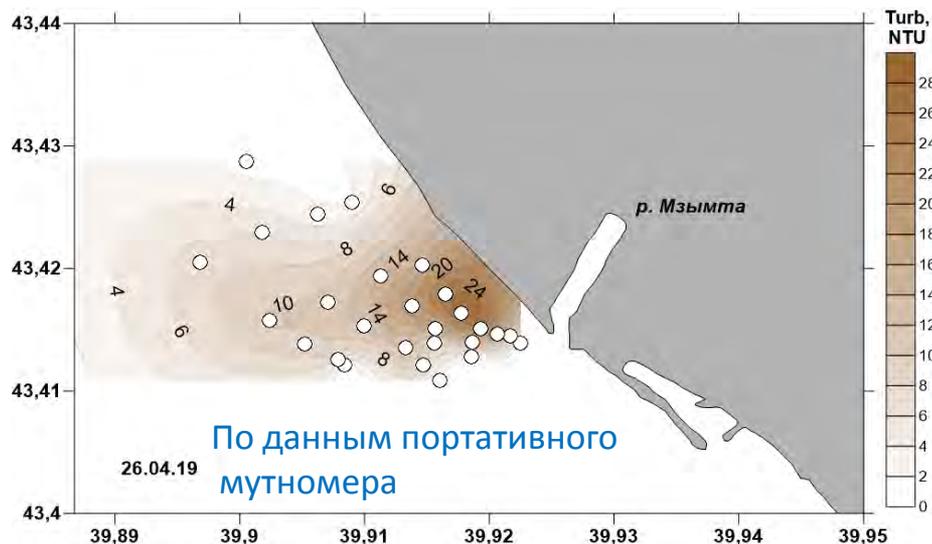
Поверхностное распределение  
TSM 26.04.19 по данным Sentinel-2B



Карты поверхностного распределения мутности морской воды:



По данным СТД-зондирований



По данным портативного  
мутномера

# Оценки количественных данных поля мутности, полученные дистанционными и натурными методами

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

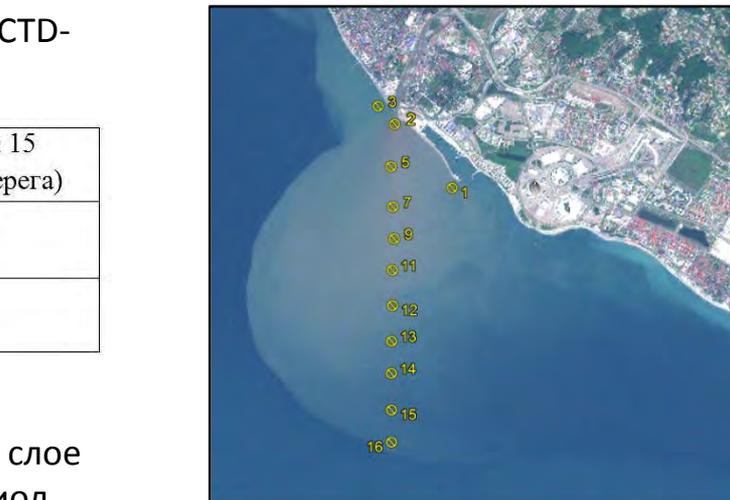


Таблица значений основных характеристик в приповерхностном слое по данным STD-зондирований и ДДЗ в реперных точках в период с 25 по 28 апреля 2018 г.

	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

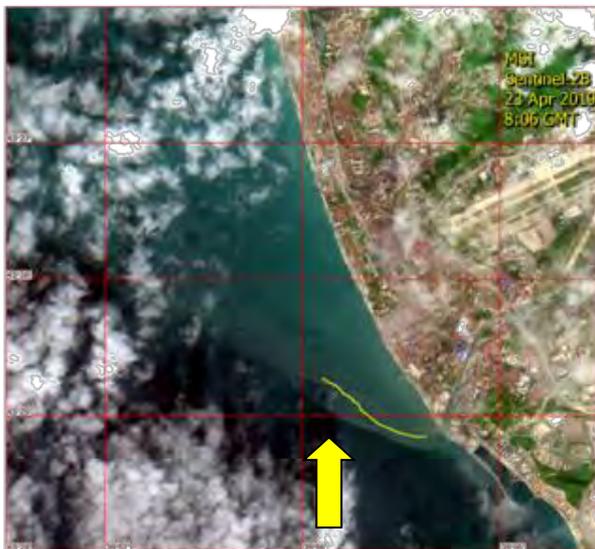
**Увеличение мутности в 4 раза!**

**Завышение значений, малочувствительность**

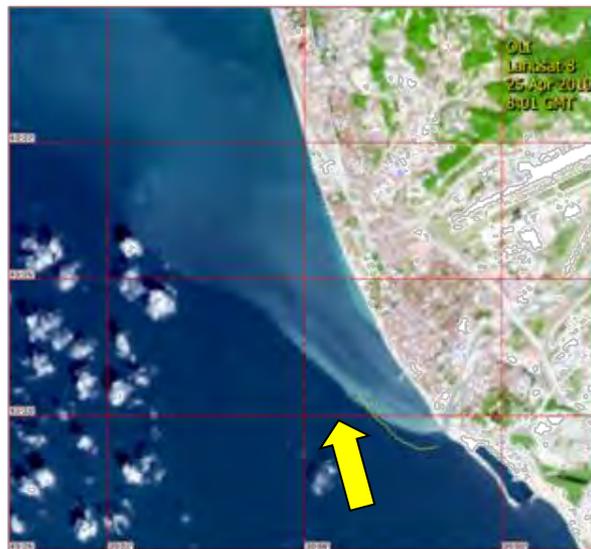
*True color изображение с нанесенными станциями CTD-зондирования за 28.04.18*

# Оценка скорости изменения положения границы речного плюма

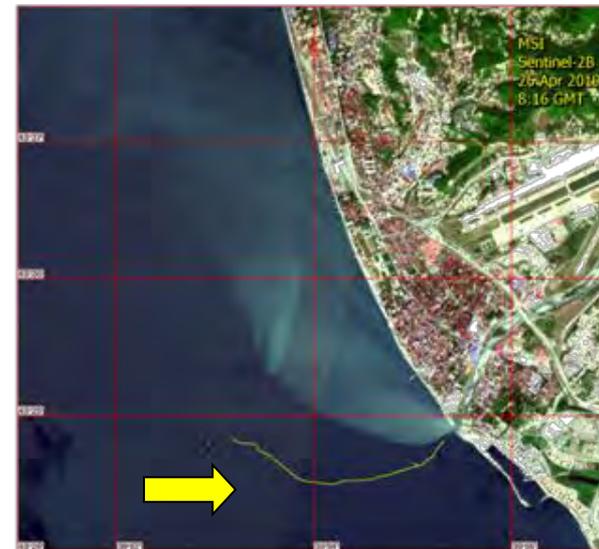
На изображениях True Color желтой линией нанесён GPS-трек вдоль границы речного плюма спустя 3 часа после пролёта спутников. Желтой стрелкой указано направление преобладающих румбов в течение этого времени.



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).



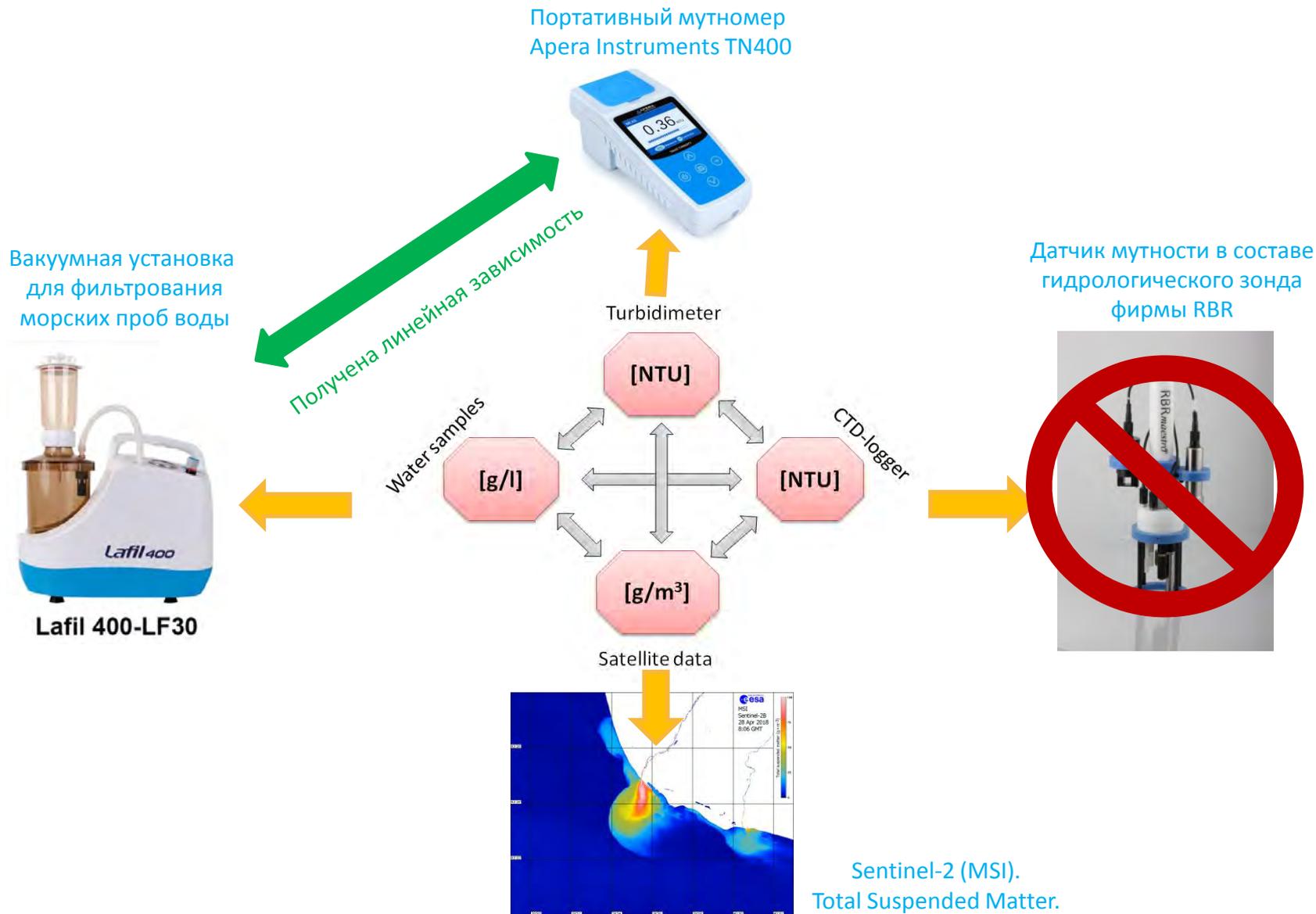
25 апреля факел речного плюма слегка прижат, а в приустьевой зоне граница сместилась на 350 метров мористее. В этот день преобладали SSE-румбы.



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.

- Различные физические принципы оценки мутности морской воды
- Использование региональных алгоритмов
- Временное рассогласование
- Пространственное разрешение спутниковых данных и точечные измерения контактными данными
- Вклад в TSM крупнодисперсных частиц

# Заклучение





**Спасибо за внимание!**

Назирова Ксения  
[knazirova@cosmos.ru](mailto:knazirova@cosmos.ru)