



Институт океанологии им. П.П Ширшова РАН
Лаборатория взаимодействия океана и вод суши

Data provided by ESA
MERIS-Envisat
14 Mar 2011
8:14 GMT

Плюмы малых рек северо-восточного побережья Черного моря

А.А. Осадчиев



Лаборатория взаимодействия океана с водами суши

Объекты исследования

- Влияние стока малых рек на прибрежные процессы: Черное море, Балтийское море, Каспийское море, побережье о. Тайвань, побережье южной Бразилии
- Влияние стока крупных рек на прибрежные и шельфовые процессы в российской Арктике: Обь, Енисей, Лена, Хатанга, Индигирка, Колыма, Амур
- Крупные водоемы Центральной Азии: Аральское море, Каспийское море, оз. Иссык-Куль

Методы исследования

- Натурные измерения
- Спутниковые наблюдения
- Численное моделирование

Лаборатория взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов



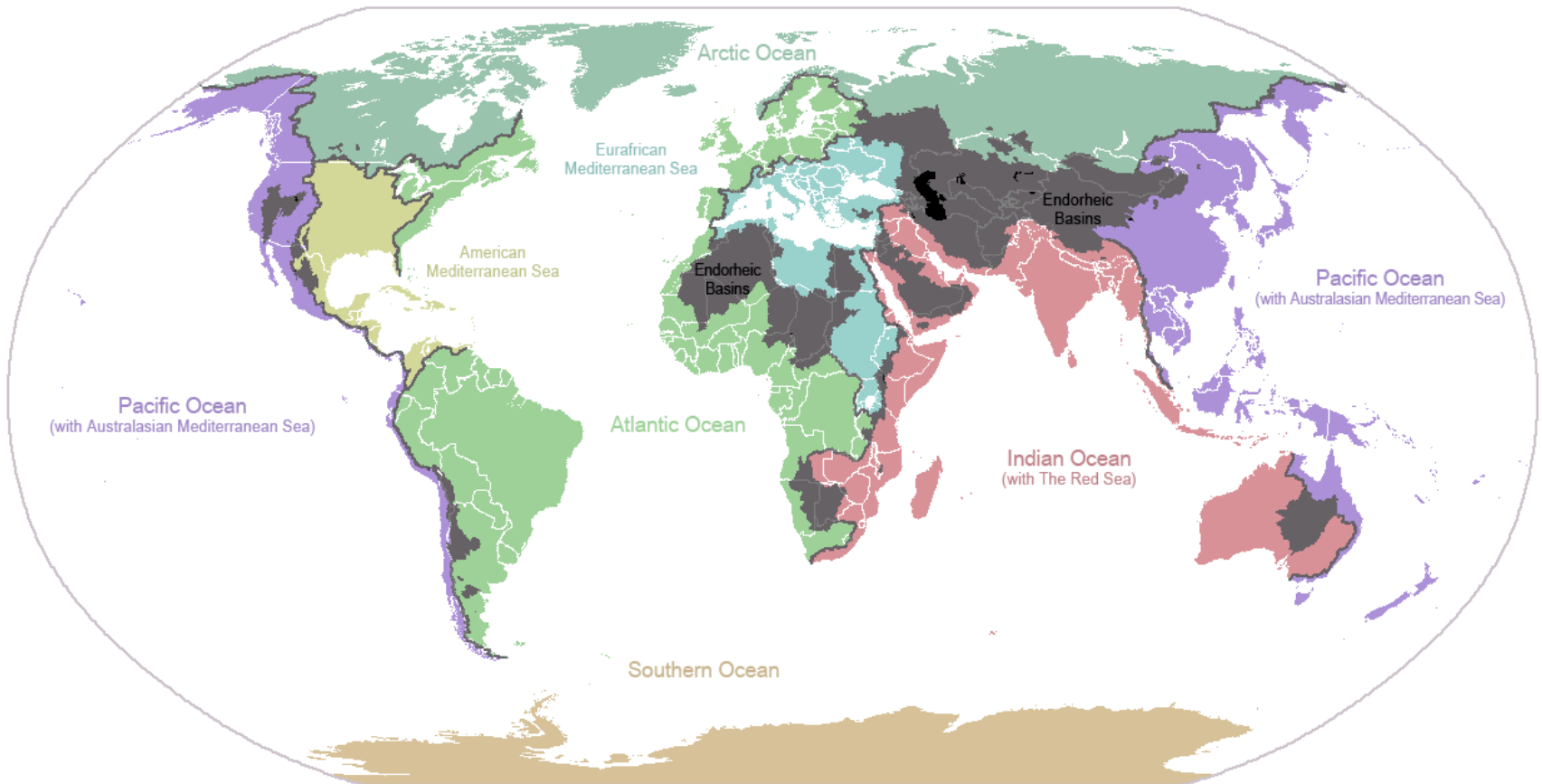
1. Речные плюмы

Речной сток в море

Площадь водосбора мирового океана: 122 200 000 км² (82% площади суши)

Протяженность береговой линии: ~ 350 000 км

Протяженность устьевых зон: ~ 4 000 км



Речной сток в море

Площадь водосбора мирового океана: 122 200 000 км² (82% площади суши)

Протяженность береговой линии: ~ 350 000 км

Протяженность устьевых зон: ~ 4 000 км

**Речные устья и прилегающие прибрежные зоны – «узкое место»
взаимодействия между сушей и морем**

В этом заключается главная причина изучения этих районов

Речной сток в море

Река впадает в море и перемешивается с соленой морской водой в результате чего формируется опресненная водная масса – **речной плюм**

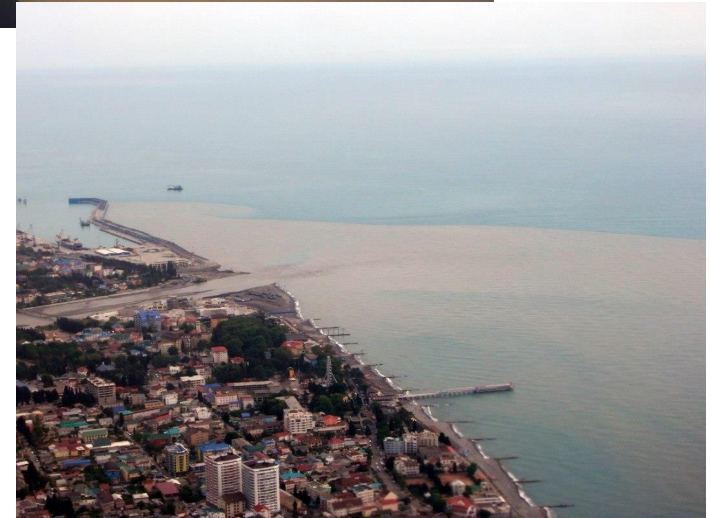
Речной сток в море

Река впадает в море и перемешивается с соленой морской водой в результате чего формируется опресненная водная масса – **речной плюм**



Речной сток в море

Река впадает в море и перемешивается с соленой морской водой в результате чего формируется опресненная водная масса – **речной плюм**



Речной сток в море

Река впадает в море и перемешивается с соленой морской водой в результате чего формируется опресненная водная масса – **речной плюм**.

Речная вода и морская вода очень разные (соленость, температура, концентрации взвешенных и растворенных веществ, ионно-солевой состав, изотопный состав и т.д.). В результате этого многие характеристики речных плюмов также существенно отличаются от характеристик окружающей морской воды.

Речной сток в море

Река впадает в море и перемешивается с соленой морской водой в результате чего формируется опресненная водная масса – **речной плюм**.

Речная вода и морская вода очень разные (соленость, температура, концентрации взвешенных и растворенных веществ, ионно-солевой состав, изотопный состав и т.д.). В результате этого многие характеристики речных плюмов также существенно отличаются от характеристик окружающей морской воды.

Соленость в речном плюме ниже, чем в окружающем море, из-за этого сила плавучести играет важную роль в динамике плюма. Речной плюм и окружающее море имеют различную динамику из-за различий в солености.

Речной сток в море

Река впадает в море и перемешивается с соленой морской водой в результате чего формируется опресненная водная масса – **речной плюм**.

Речная вода и морская вода очень разные (соленость, температура, концентрации взвешенных и растворенных веществ, ионно-солевой состав, изотопный состав и т.д.). В результате этого многие характеристики речных плюмов также существенно отличаются от характеристик окружающей морской воды.

Соленость в речном плуеме ниже, чем в окружающем море, из-за этого сила плавучести играет важную роль в динамике плюма. Речной плюм и окружающее море имеют различную динамику из-за различий в солености.

Поэтому соленость – главная характеристика, по которой различают речные плюмы и морские воды, т.е. определяют граничную зону, где заканчивается речной плюм и начинается морская вода.

Речные плюмы

Плюм – поток жидкости или газа, распространяющийся через жидкость или газ, имеющий другую плотность

Речные плюмы

Плюм – поток жидкости или газа, распространяющийся через жидкость или газ, имеющий другую плотность



мантейный плюм



газовый плюм

Речные пюмы

Плюм – поток жидкости или газа, распространяющийся через жидкость или газ, имеющий другую плотность



речной плюом

Глава 1. Краткий обзор современного состояния исследований речных плюмов

Влияние речного стока

Объем речного стока в море ($38\,000\text{ км}^3$ в год) незначителен как по сравнению с объемом мирового океана ($1\,332\,000\,000\text{ км}^3$), так и с объемом его шельфовых областей ($66\,600\,000\text{ км}^3$).

Влияние речного стока

Объем речного стока в море ($38\,000\text{ км}^3$ в год) незначителен как по сравнению с объемом мирового океана ($1\,332\,000\,000\text{ км}^3$), так и с объемом его шельфовых областей ($66\,600\,000\text{ км}^3$).

Тем не менее речные плюмы легче морской воды, поэтому они растекаются тонким слоем на большую площадь и влияют на значительные участки прибрежных морских областей. Общая площадь речных плюмов в зависимости от сезона составляет от 7% до 21% площади всего континентального шельфа.

Влияние речного стока

Объем речного стока в море ($38\,000\text{ км}^3$ в год) незначителен как по сравнению с объемом мирового океана ($1\,332\,000\,000\text{ км}^3$), так и с объемом его шельфовых областей ($66\,600\,000\text{ км}^3$).

Тем не менее речные плюмы легче морской воды, поэтому они растекаются тонким слоем на большую площадь и влияют на значительные участки прибрежных морских областей. Общая площадь речных плюмов в зависимости от сезона составляет от 7% до 21% площади всего континентального шельфа.

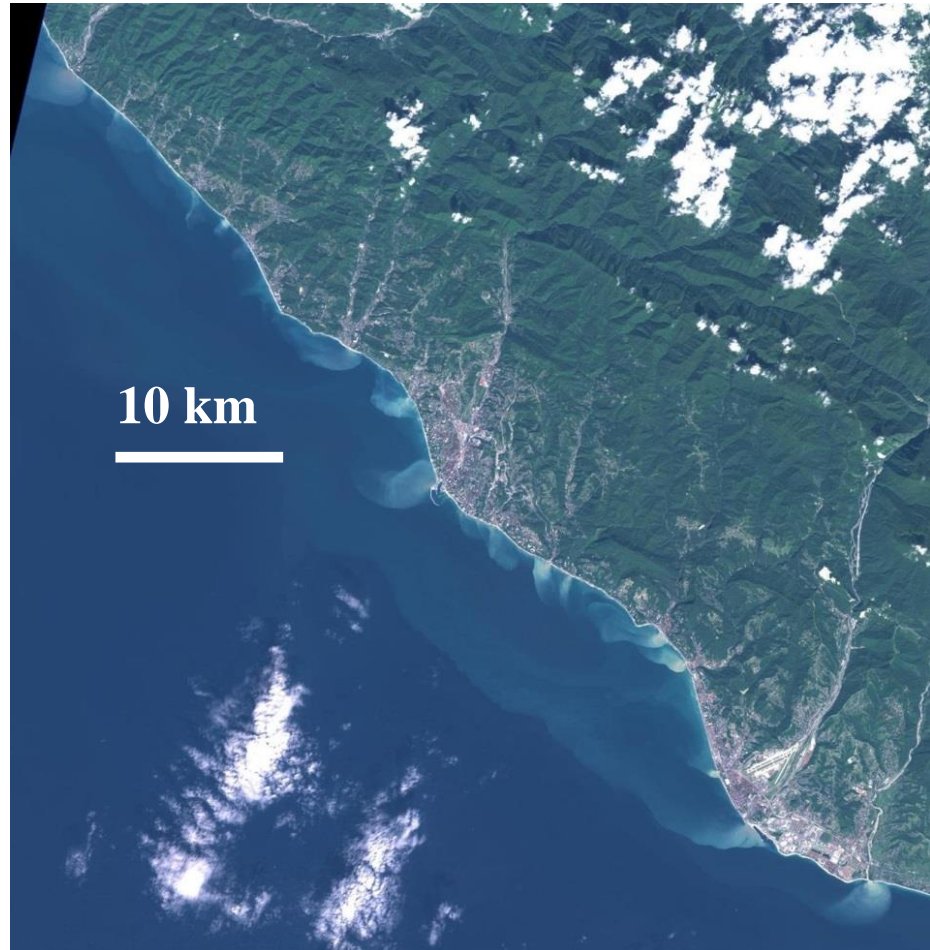
Речной сток – основной источник плавучести, терригенной взвеси, биогенов и антропогенного загрязнения в прибрежных зонах моря. В результате этого речные плюмы существенно влияют на многие физические, геологические и биохимические процессы в океане.

Влияние речного стока

1. **Малые и средние плюмы** влияют на процессы в **региональном масштабе**: биологическая продуктивность и рыболовство; загрязнение моря и качество вод; рельеф берега и дна; гидротехническое строительство

Влияние речного стока

1. **Малые и средние плюмы** влияют на процессы в **региональном масштабе**: биологическая продуктивность и рыболовство; загрязнение моря и качество вод; рельеф берега и дна; гидротехническое строительство

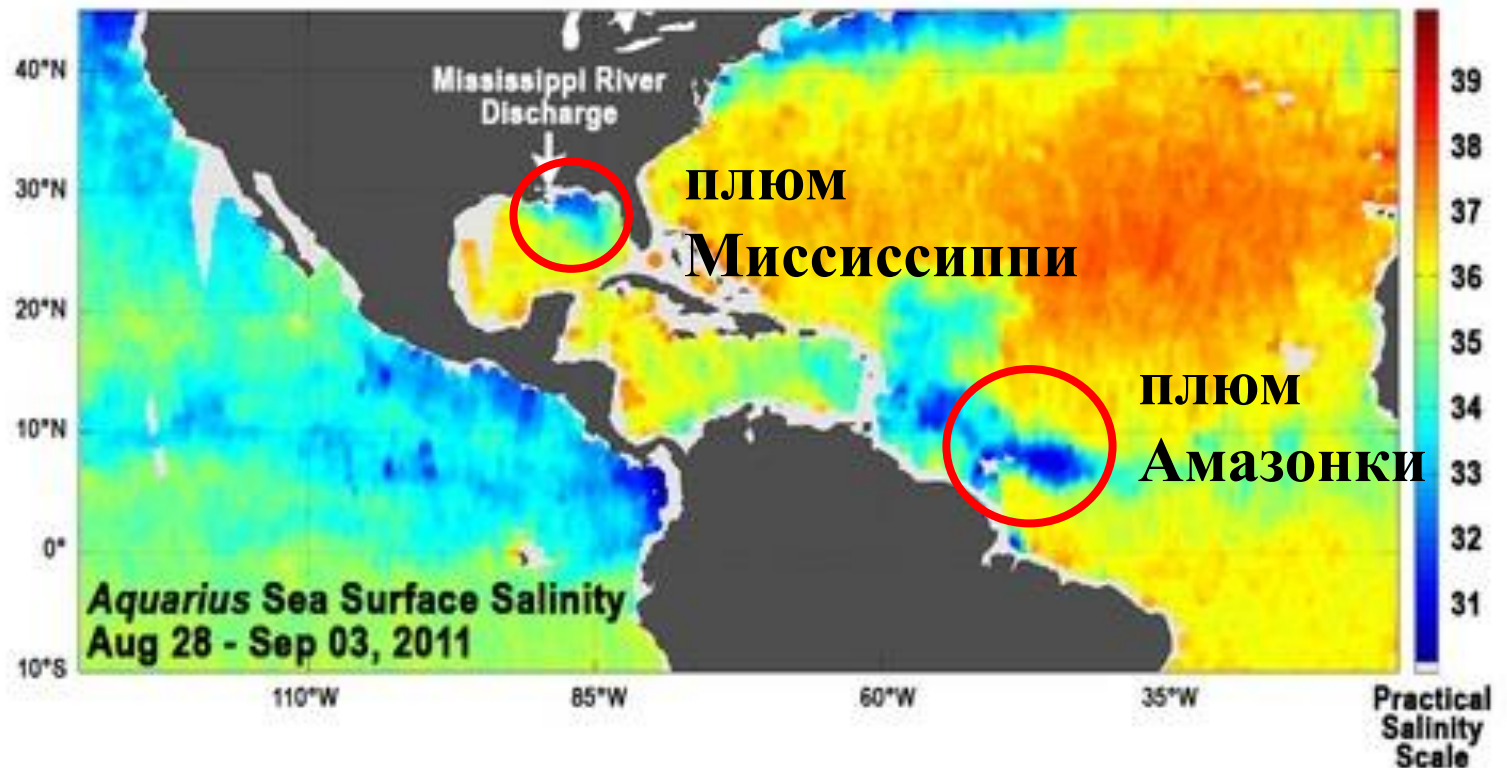


Влияние речного стока

1. **Малые и средние пюмы** влияют на процессы в **региональном масштабе**: биологическая продуктивность и рыболовство; загрязнение моря и качество вод; рельеф берега и дна; гидротехническое строительство
2. **Большие речные пюмы** влияют на процессы в **масштабе моря**, особенно во внутренних морях: водный баланс, стратификация, биогенный цикл, цикл углерода, асидификация

Влияние речного стока

1. **Малые и средние пюмы** влияют на процессы в **региональном масштабе**: биологическая продуктивность и рыболовство; загрязнение моря и качество вод; рельеф берега и дна; гидротехническое строительство
2. **Большие речные пюмы** влияют на процессы в **масштабе моря**, особенно во внутренних морях: водный баланс, стратификация, биогенный цикл, цикл углерода, асидификация



Влияние речного стока

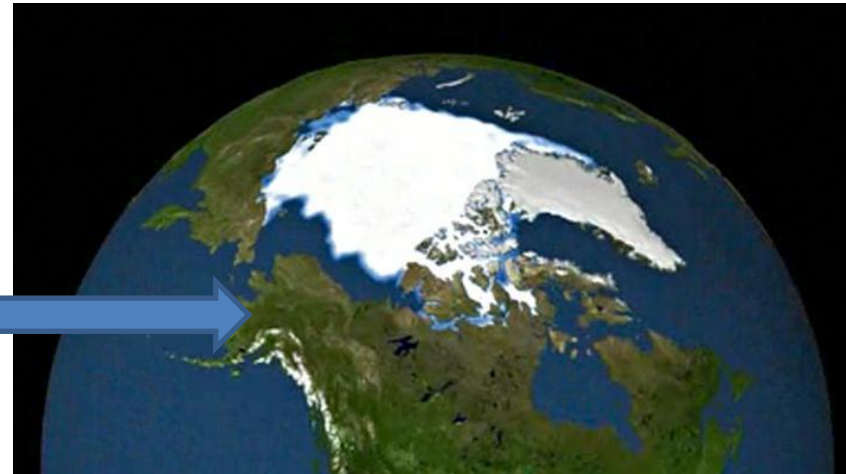
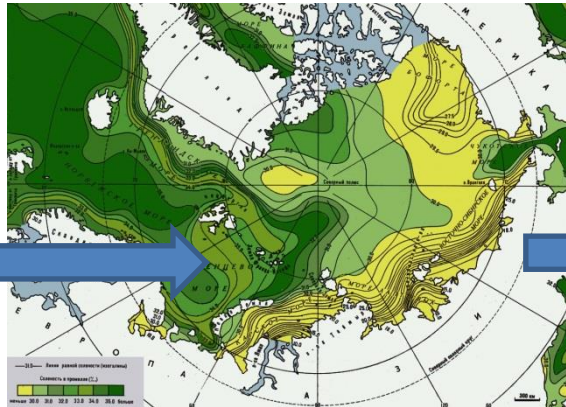
1. **Малые и средние пюмы** влияют на процессы в **региональном масштабе**: биологическая продуктивность и рыболовство; загрязнение моря и качество вод; рельеф берега и дна; гидротехническое строительство
2. **Большие речные пюмы** влияют на процессы в **масштабе моря**, особенно во внутренних морях: водный баланс, стратификация, биогенный цикл, цикл углерода, асидификация
3. **Пюмы больших арктических рек** влияют на ледообразование в Северном Ледовитом океана и, тем самым, на **альбедо Земли и планетарный климат**

Влияние речного стока

1. **Малые и средние плюмы** влияют на процессы в **региональном масштабе**: биологическая продуктивность и рыболовство; загрязнение моря и качество вод; рельеф берега и дна; гидротехническое строительство
2. **Большие речные плюмы** влияют на процессы в **масштабе моря**, особенно во внутренних морях: водный баланс, стратификация, биогенный цикл, цикл углерода, асидификация
3. **Плюмы больших арктических рек** влияют на ледообразование в Северном Ледовитом океане и, тем самым, на **альбедо Земли** и **планетарный климат**

распределение солености
и стратификация

распределение льда и альбедо Земли



Трансформация речного стока в море

- 1. Плюм** – трансформация речного стока в результате смешения с морскими водами во временном масштабе **от мезомасштабного до синоптического** (английский аналог – river plume)

Трансформация речного стока в море

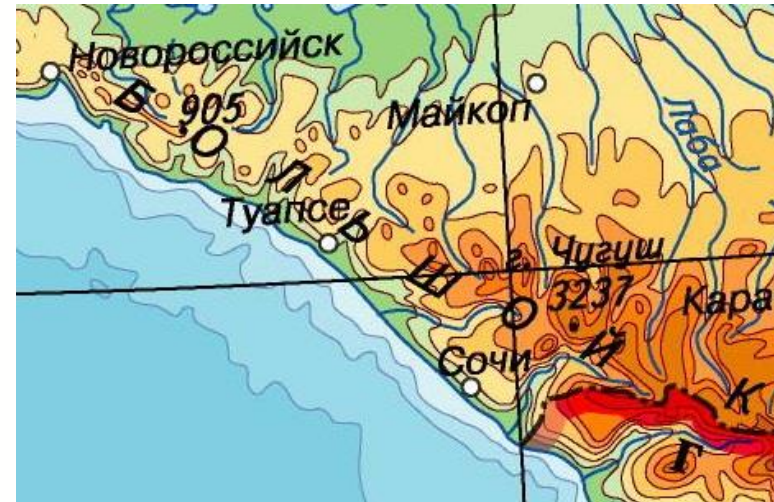
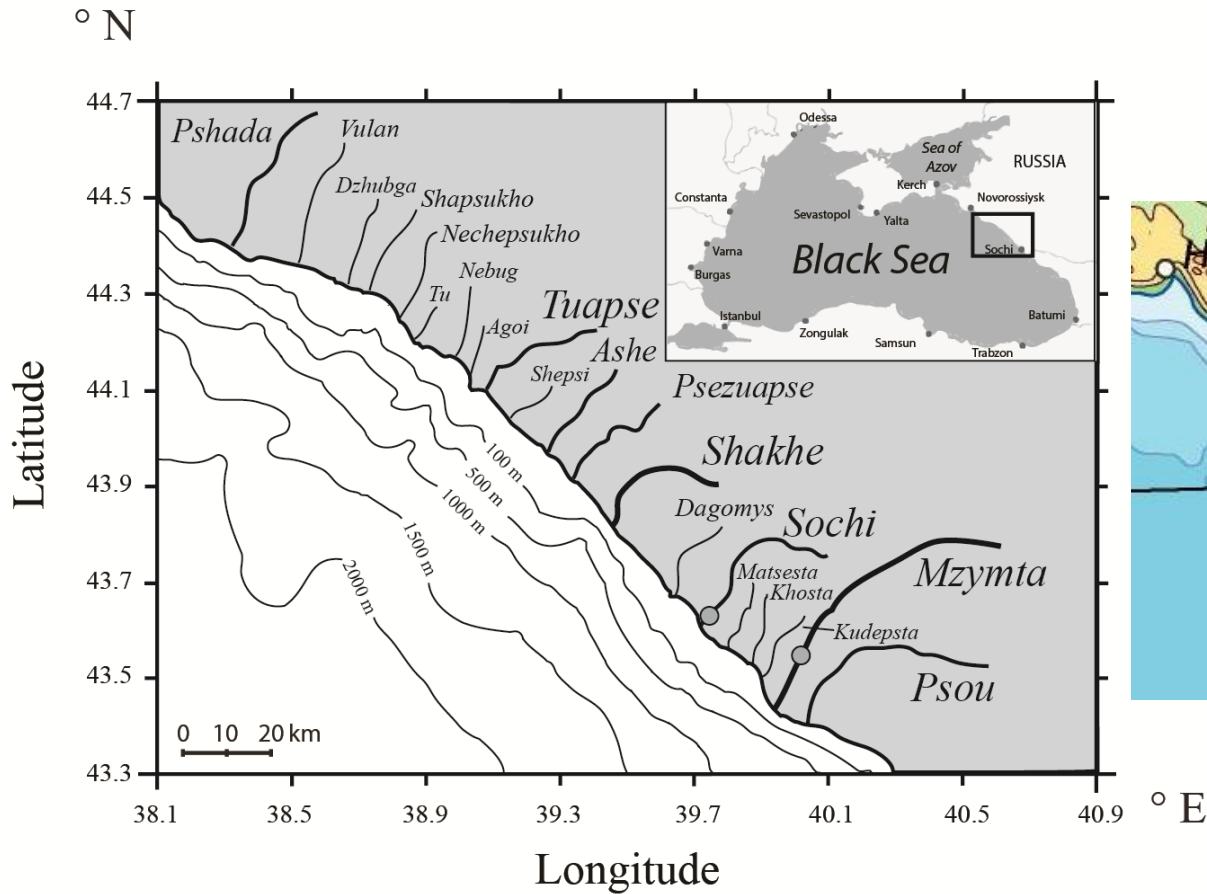
- 1. Плюм** – трансформация речного стока в результате смешения с морскими водами во временном масштабе **от мезомасштабного до синоптического** (английский аналог – river plume)
- 2. Приповерхностный опресненный слой** (опресненная линза) – трансформация речного стока в результате смешения с морскими водами во временном масштабе **от сезонного до межгодового** (английский аналог – region of freshwater influence, ROFI)

Трансформация речного стока в море

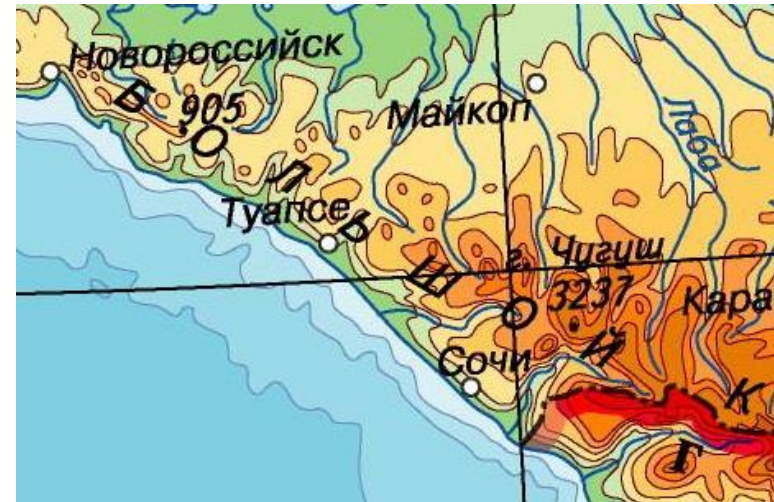
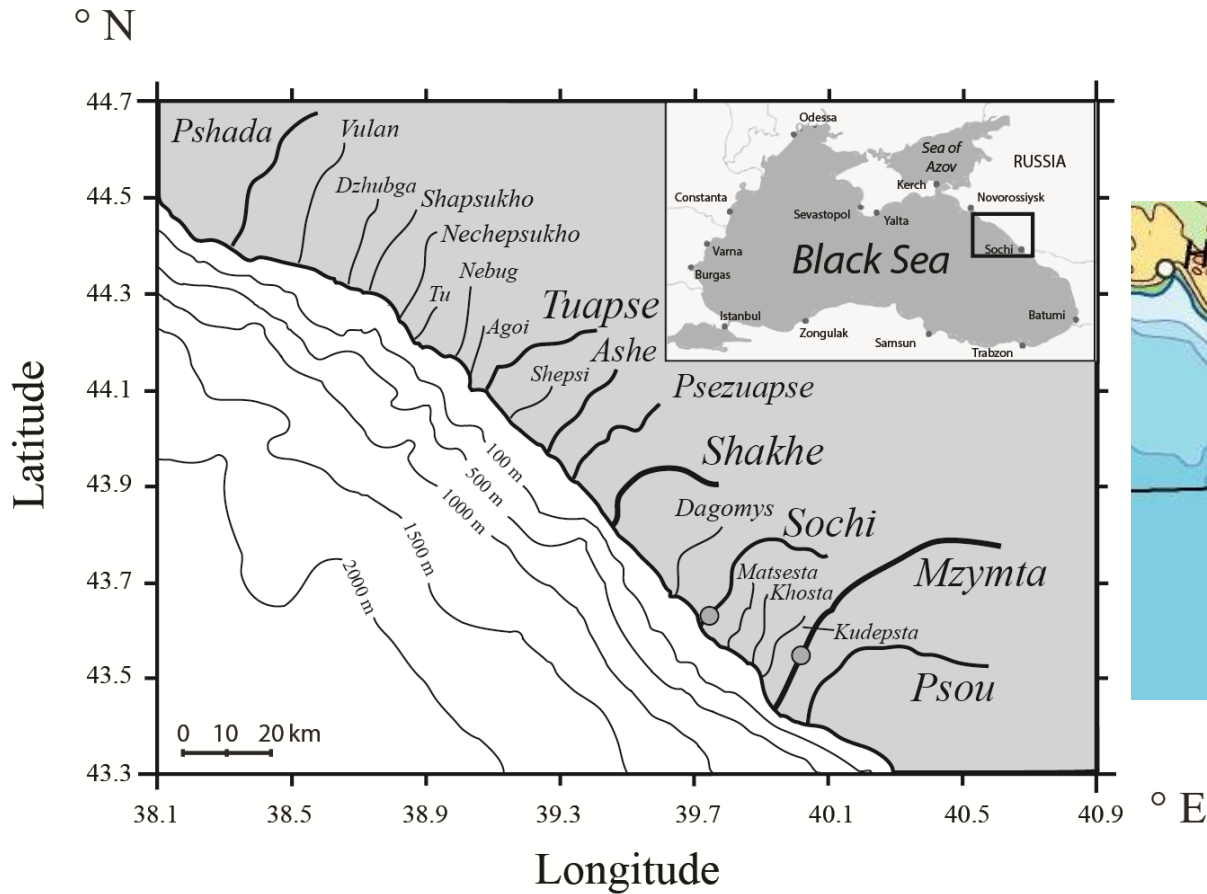
1. **Плюм** – трансформация речного стока в результате смешения с морскими водами во временном масштабе **от мезомасштабного до синоптического** (английский аналог – river plume)
2. **Приповерхностный опресненный слой** (опресненная линза) – трансформация речного стока в результате смешения с морскими водами во временном масштабе **от сезонного до межгодового** (английский аналог – region of freshwater influence, ROFI)
3. Трансформация речного стока в результате смешения с морскими водами во временном масштабе **от внутривекового до долгопериодного** – структура и изменчивость **крупномасштабных водных масс**

2. Плюмы малых рек северо-восточного побережья Черного моря

Район исследования: северо-восточное побережье Черного моря

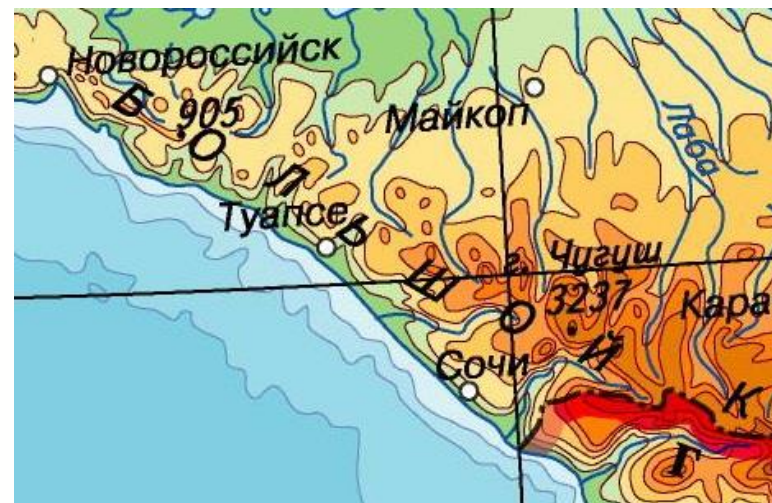
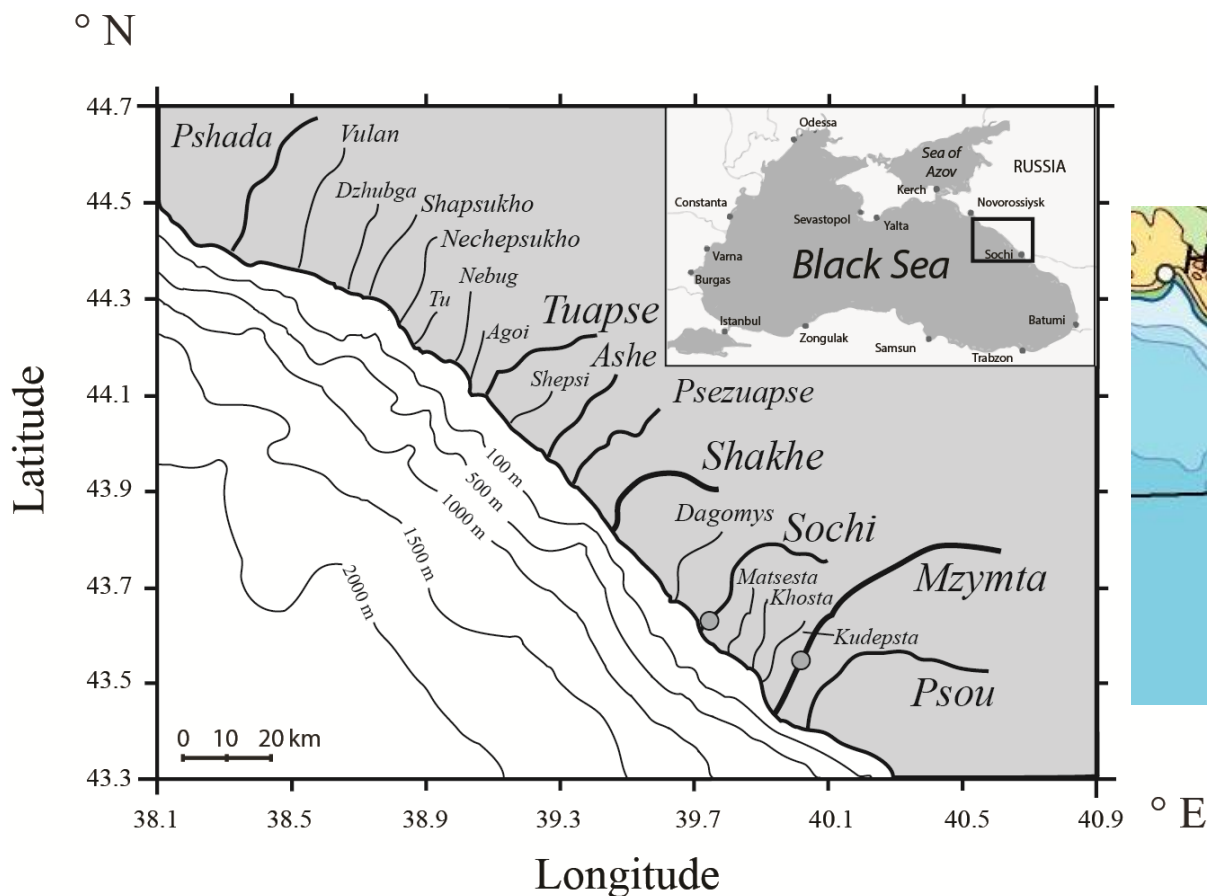


Район исследования: северо-восточное побережье Черного моря



Малая площадь речных водосборов, малый объем годового стока.

Район исследования: северо-восточное побережье Черного моря



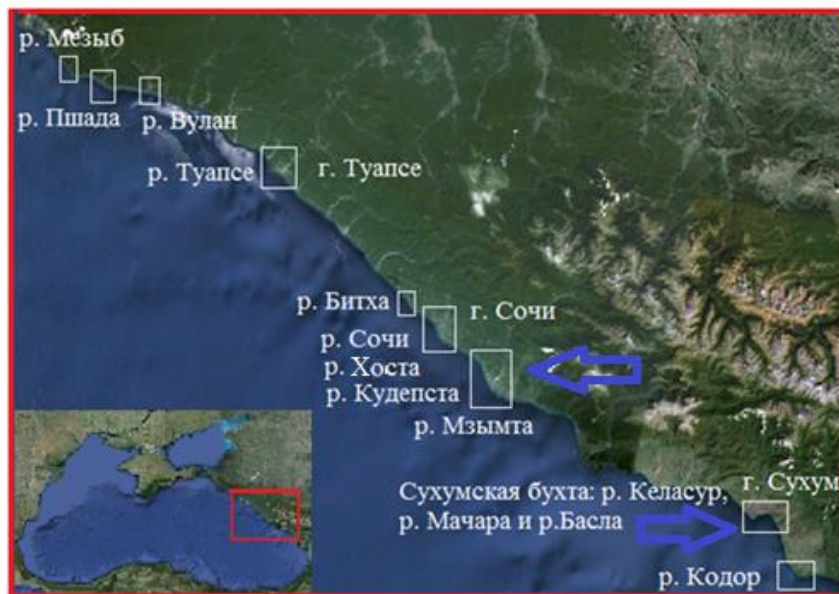
Малая площадь речных водосборов, малый объем годового стока.

Крутизна склонов (до 40-60°) и высокая плотность речной сети способствуют быстрому отклику речного расхода на осадки на водосборе.

Район исследования: северо-восточное побережье Черного моря

- 1) 1-9.06.2006: реки Мезыб, Вулан и Пшада
- 2) 2-5.05.2007: реки Мзымта, Сочи, Мезыб, Туапсе, Вулан и Пшада
- 3) 7-13.11.2008: река Вулан
- 4) 20-27.05.2009: реки Кудепста и Мзымта
- 5) 25-30.05.2010: реки Кудепста и Мзымта
- 6) 25-31.05.2011: реки Кудепста и Мзымта
- 7) 15-19.05.2012: реки Мзымта, Кудепста, Сочи, Битха

- 8) 21-22.05.2012: реки Кодор, Басла, Келасур, Мачара
- 9) 30.11-1.12.2012: река Мзымта
- 10) 20-29.05.2013: реки Мзымта, Кудепста, Сочи, Хоста и Битха
- 11) 21-30.05.2014: реки Мзымта, Кудепста, Сочи и Битха
- 12) 26-31.05.2015: реки Мзымта, Кудепста, Сочи, Хоста и Битха



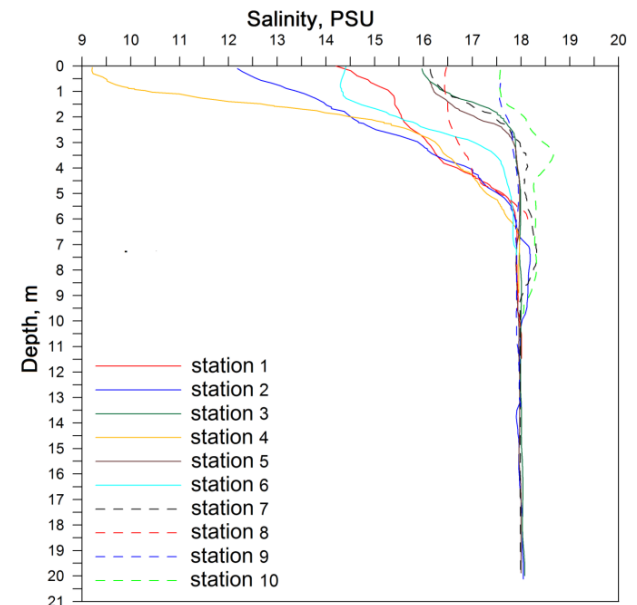
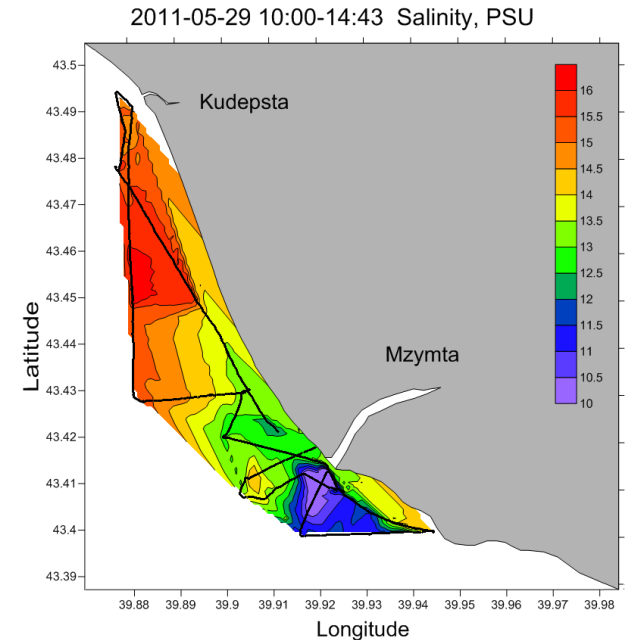
Натурные измерения

Непосредственные измерения характеристик плюма

- 1) Непрерывно по ходу судна
 - проточная CTD система (температура, соленость, рН, мутность, флуорисценция, концентрация кислорода; пространственное разрешение ~10 м);
 - УФ флуоресцентный лидар (концентрации минеральной взвеси, растворенной органики, хлорофилла а; пространственное разрешение ~1 м);
- 2) Вертикальные CTD зондирования;
- 3) Отбор проб воды (рН, щелочность, концентрации кислорода, фосфатов, силикатов, нитритов, нитратов, аммония, тяжелый металлов, радионуклидов);
- 4) Компоненты сестона (минеральная взвесь, детрит, фитопланктон);

Измерения параметров внешнего воздействия

- 5) Заякоренные станции (временное разрешение – 10 мин)
 - скорости приповерхностных и придонных течений
 - устьевая скорость течения реки
- 6) Метеопараметры (временное разрешение – 10 мин)
 - скорость и направление ветра, температура воздуха, атмосферное давление и т.д.



Натурные измерения

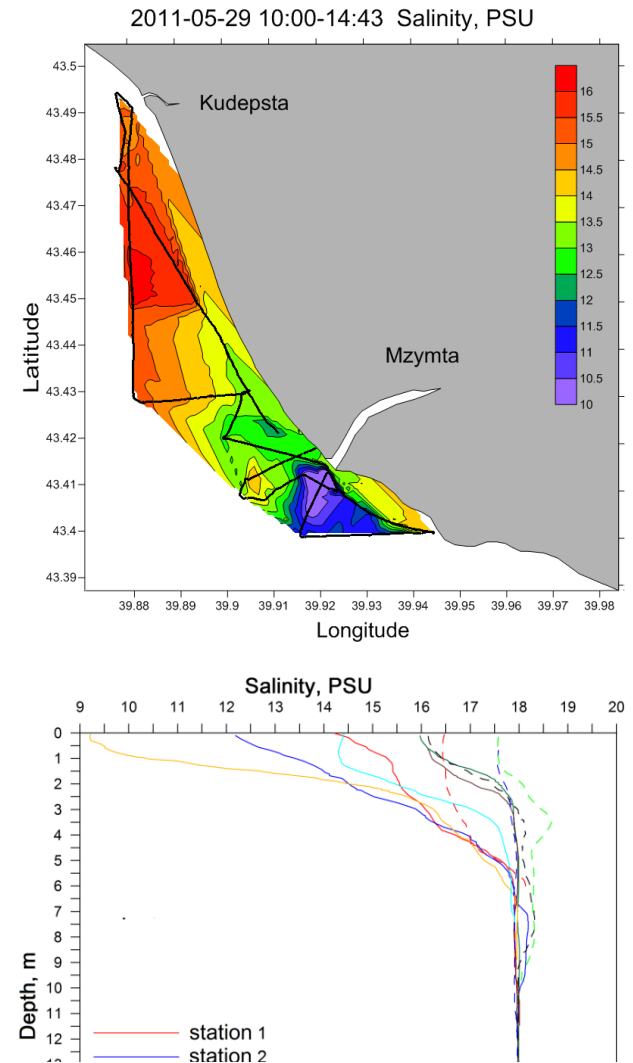
Непосредственные измерения характеристик плюма

- 1) Непрерывно по ходу судна
 - проточная CTD система (температура, соленость, рН, мутность, флуорисценция, концентрация кислорода; пространственное разрешение ~10 м);
 - УФ флуоресцентный лидар (концентрации минеральной взвеси, растворенной органики, хлорофилла а; пространственное разрешение ~1 м);
- 2) Вертикальные CTD зондирования;
- 3) Отбор проб воды (рН, щелочность, концентрации кислорода, фосфатов, силикатов, нитритов, нитратов, аммония, тяжелый металлов, радионуклидов);
- 4) Компоненты сестона (минеральная взвесь, детрит, фитопланктон);

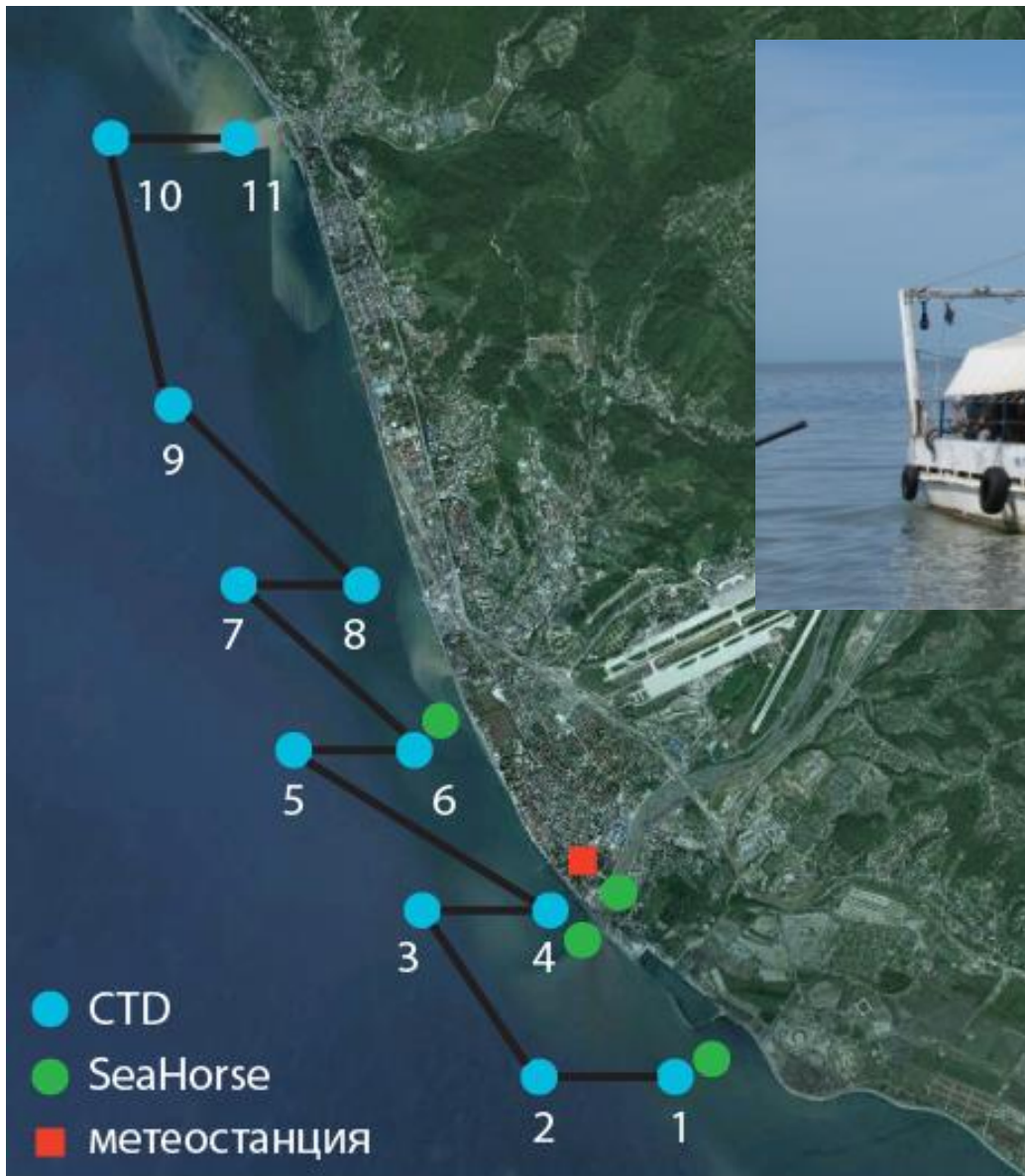
Измерения параметров внешнего воздействия

- 5) Заякоренные станции (временное разрешение – 10 мин)
 - скорости приповерхностных и придонных течений
 - вертикальная скорость течения реки

Более подробно: Завьялов и др. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря. *Океанология*. 2014.



Натурные измерения









Натурные измерения



Натурные измерения

Проточная измерительная система



Ультрафиолетовый
флуоресцентный лидар УФЛ-9

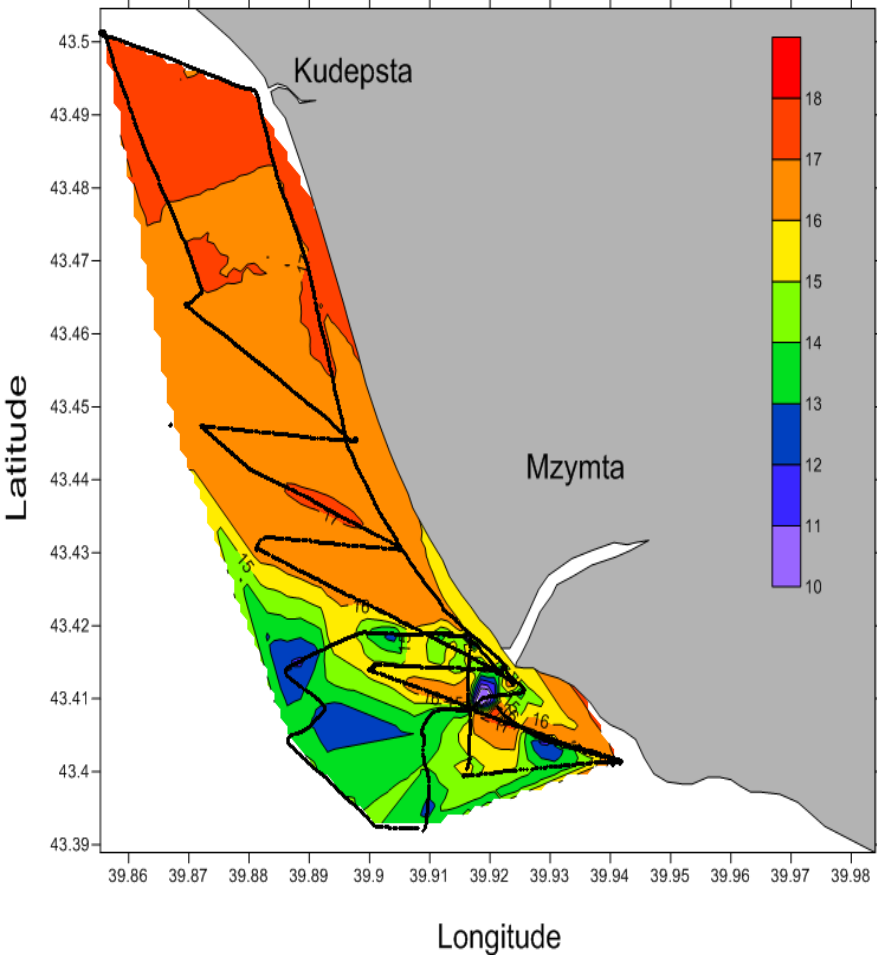


Центробежный насос

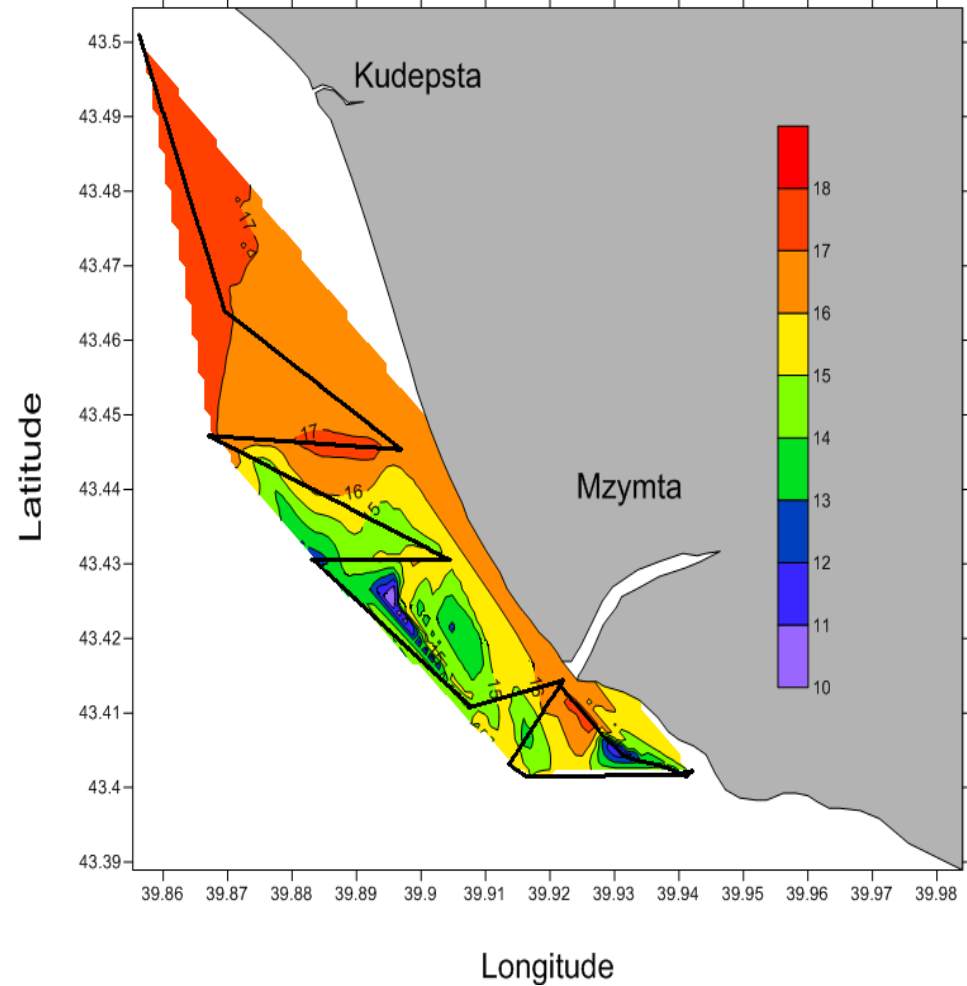
Контейнер с зондом SBE 911

Натурные измерения

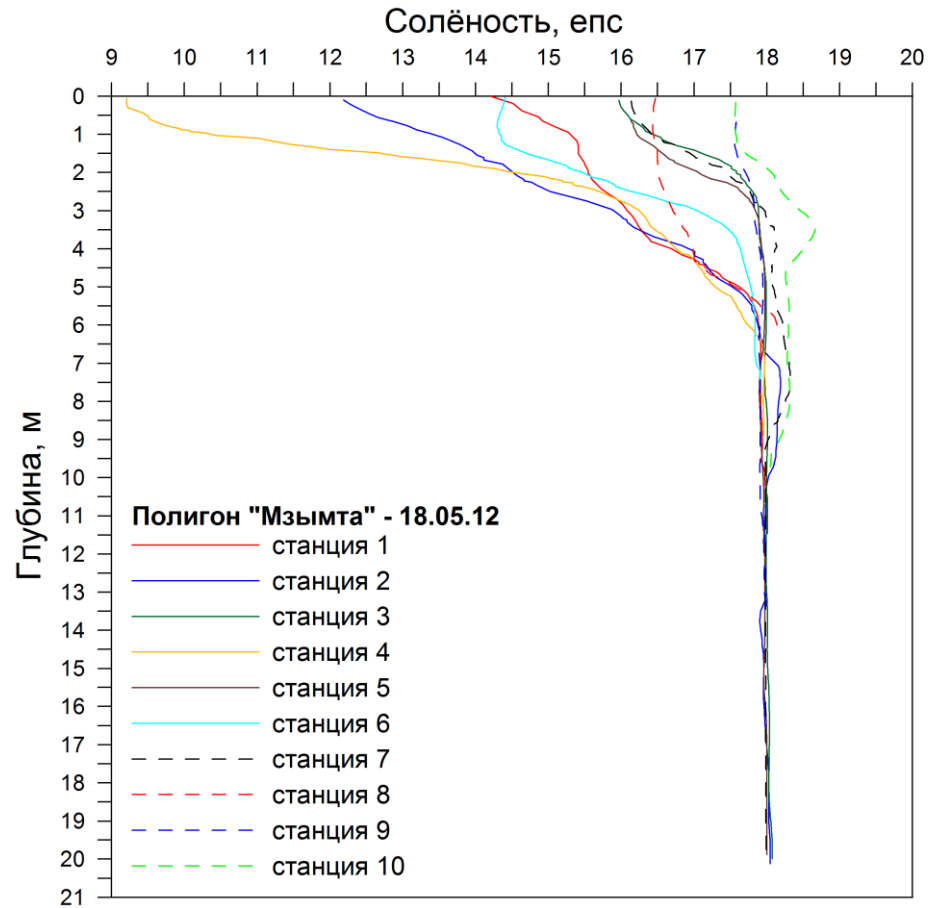
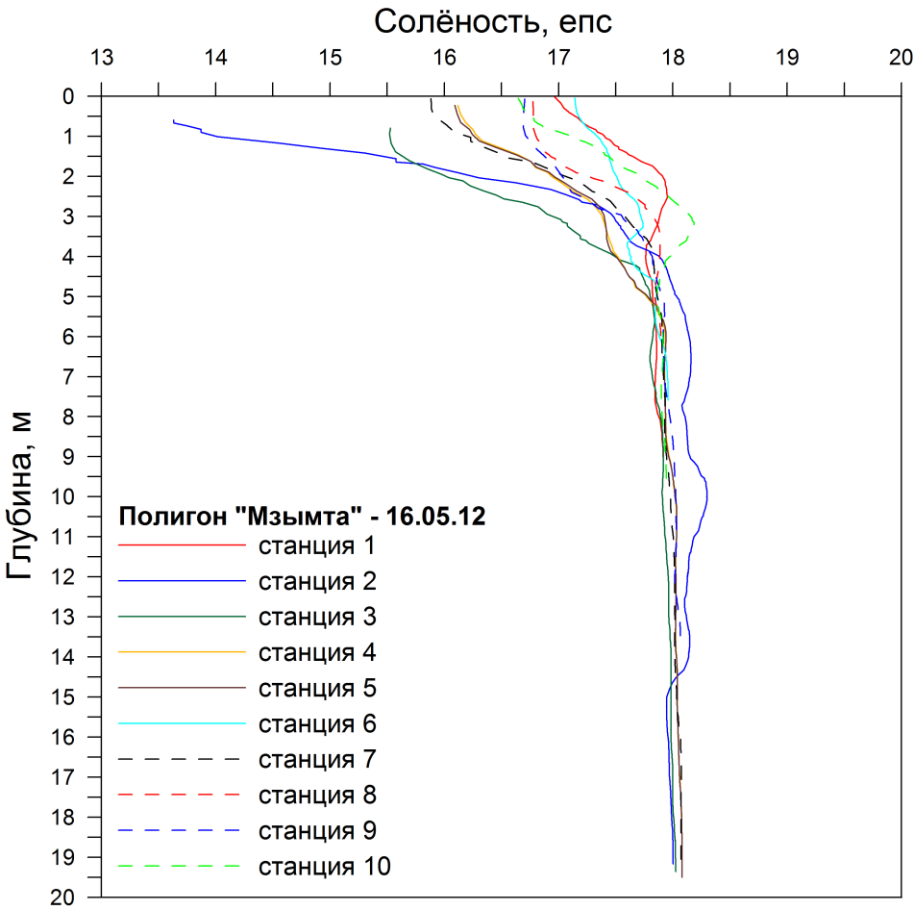
2012-05-16 12:28-20:18 Salinity, PSU



2012-05-18 10:08-14:00 Salinity, PSU

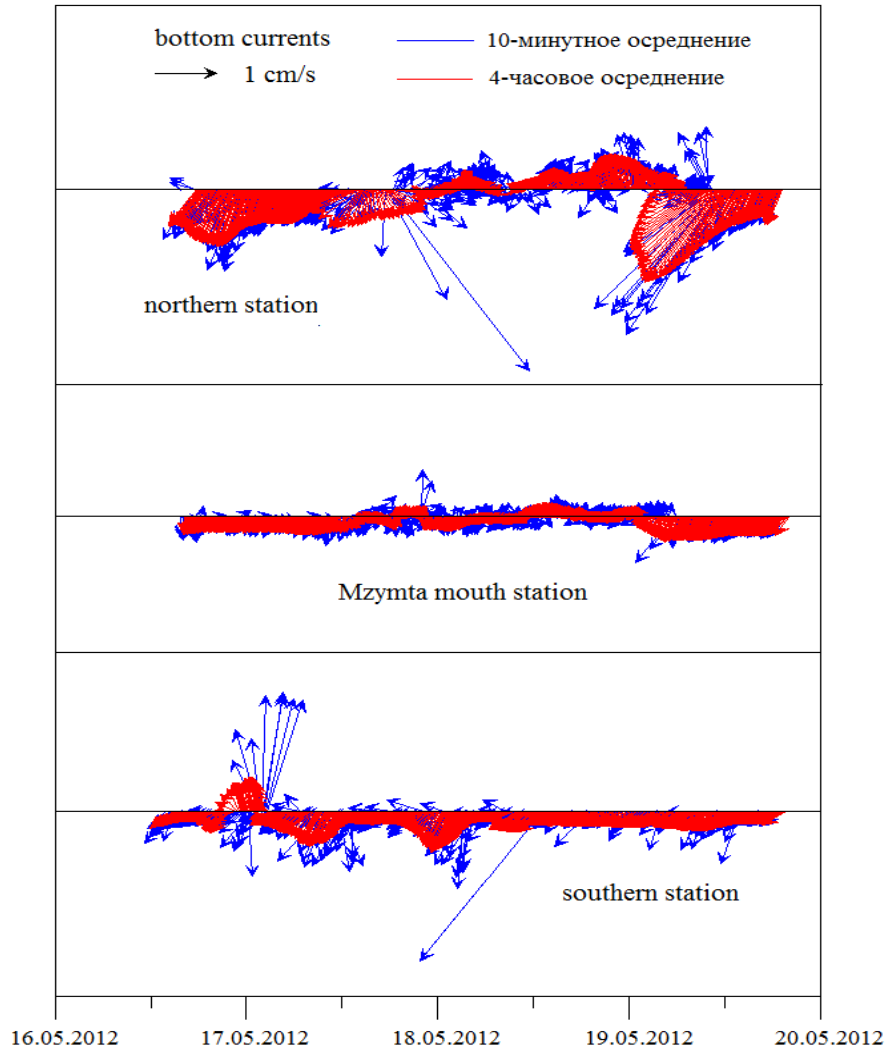


Натурные измерения

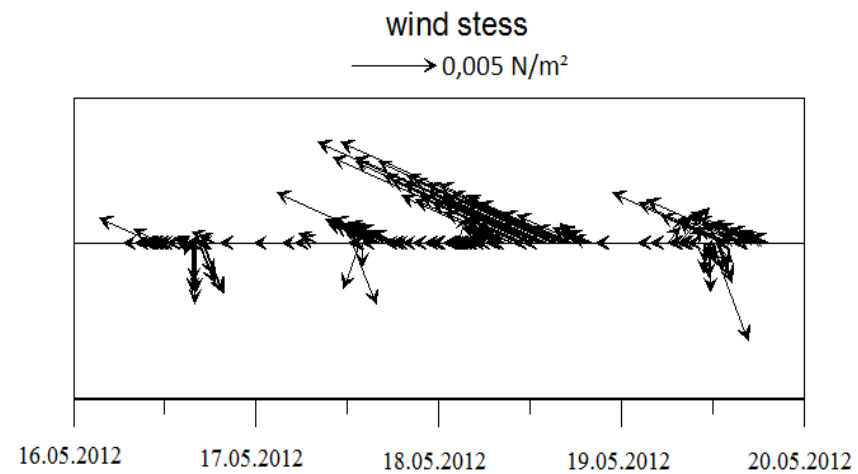


Натурные измерения

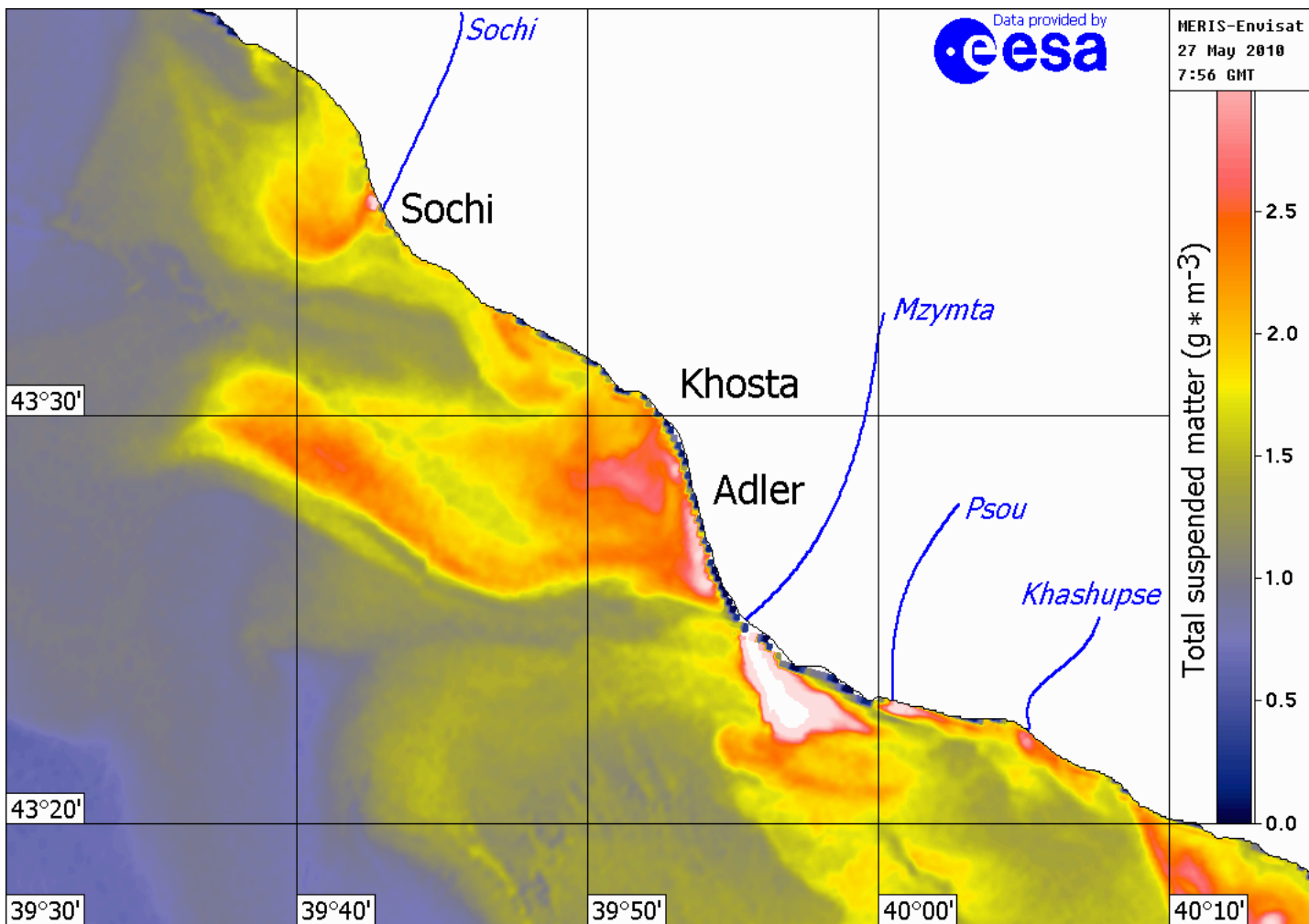
Фоновые течения



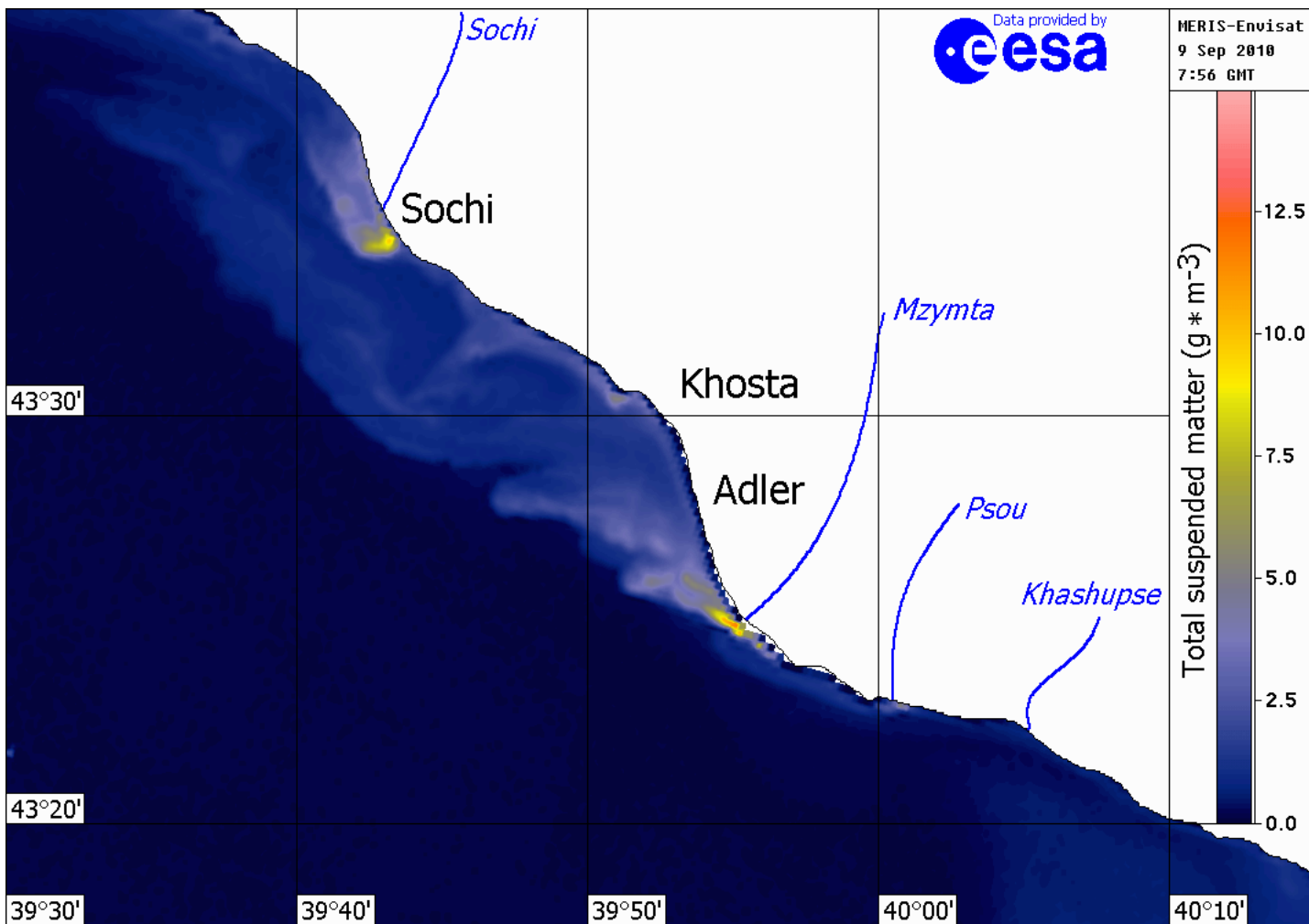
Ветер



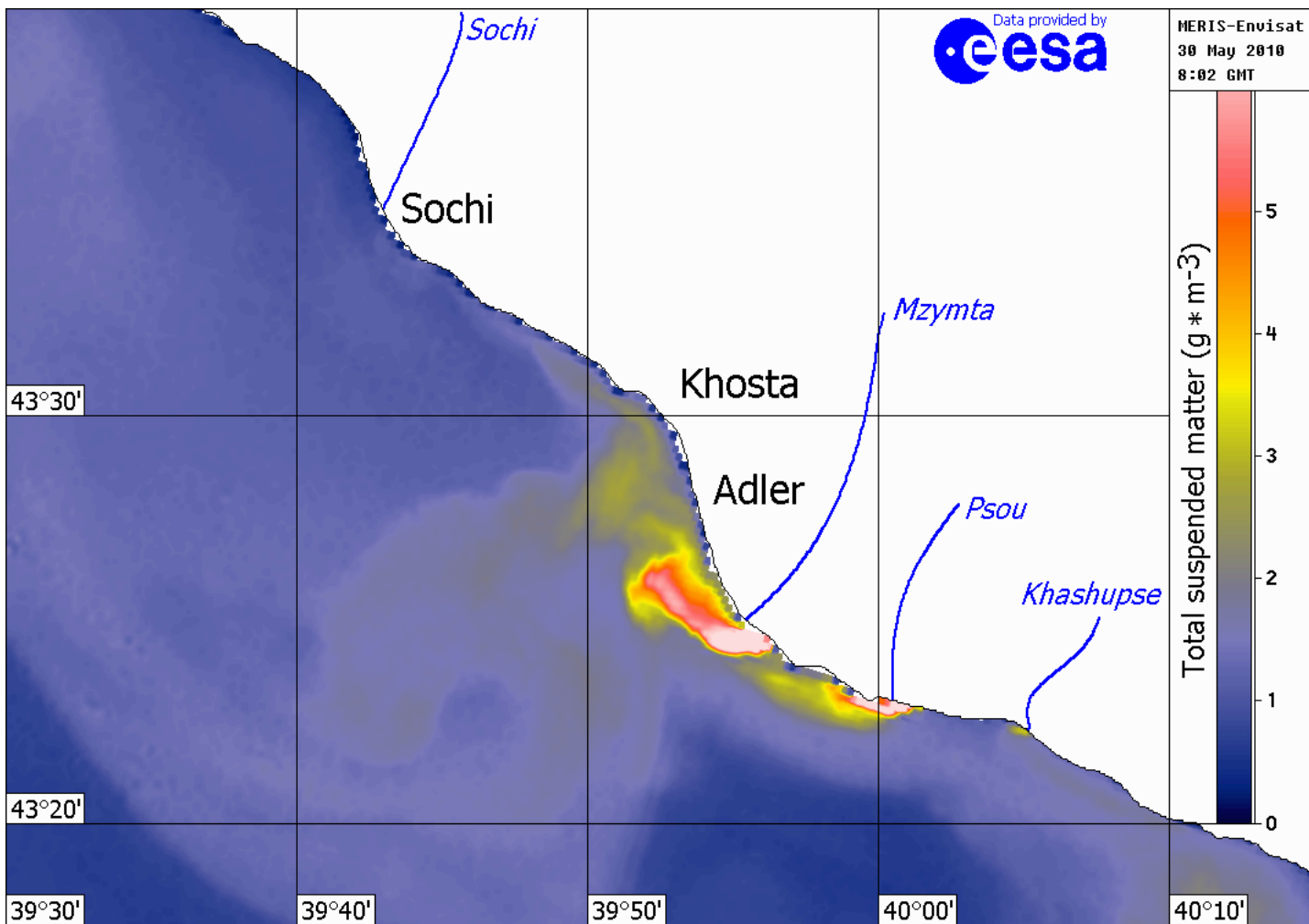
Спутниковые наблюдения



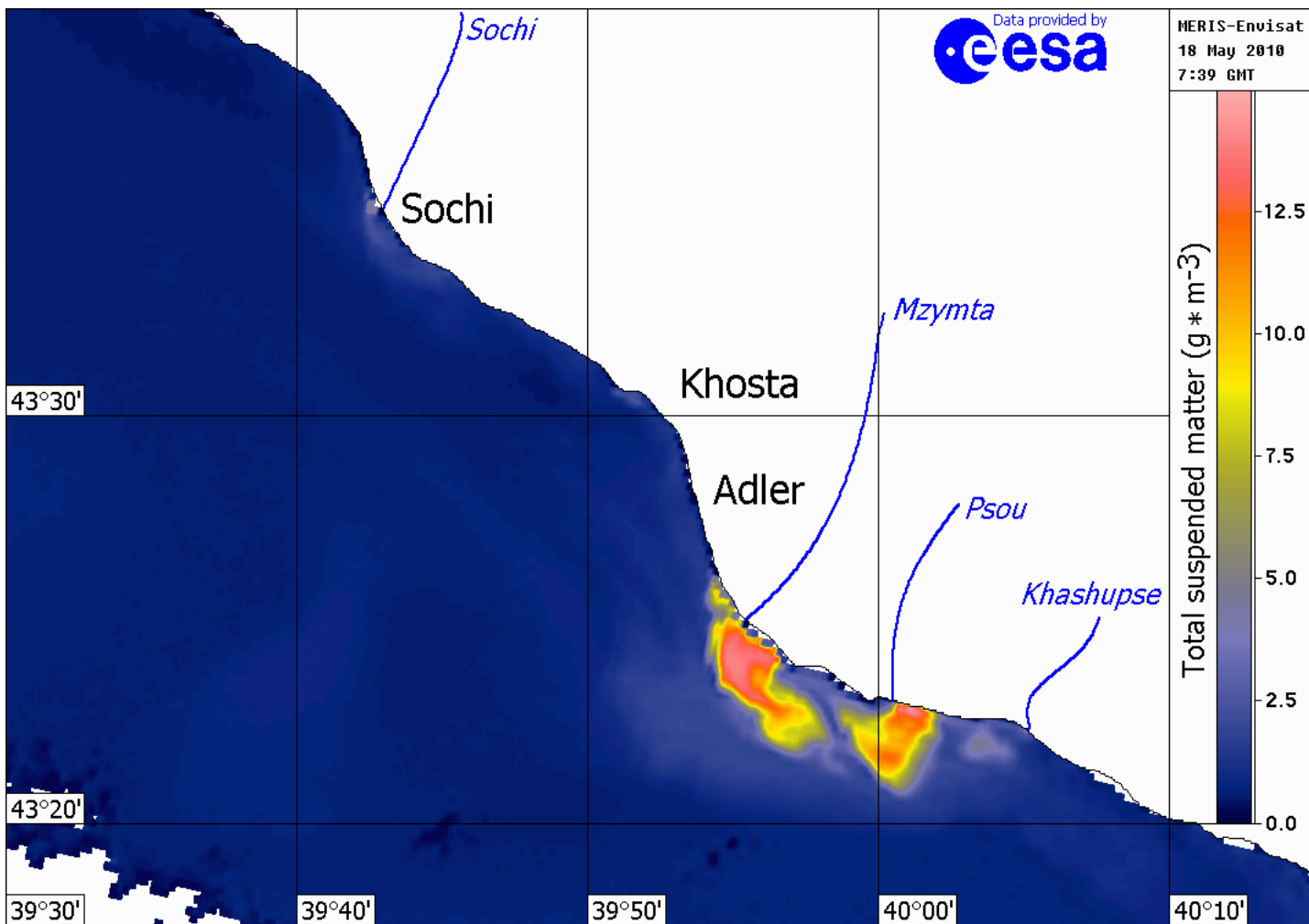
Спутниковые наблюдения



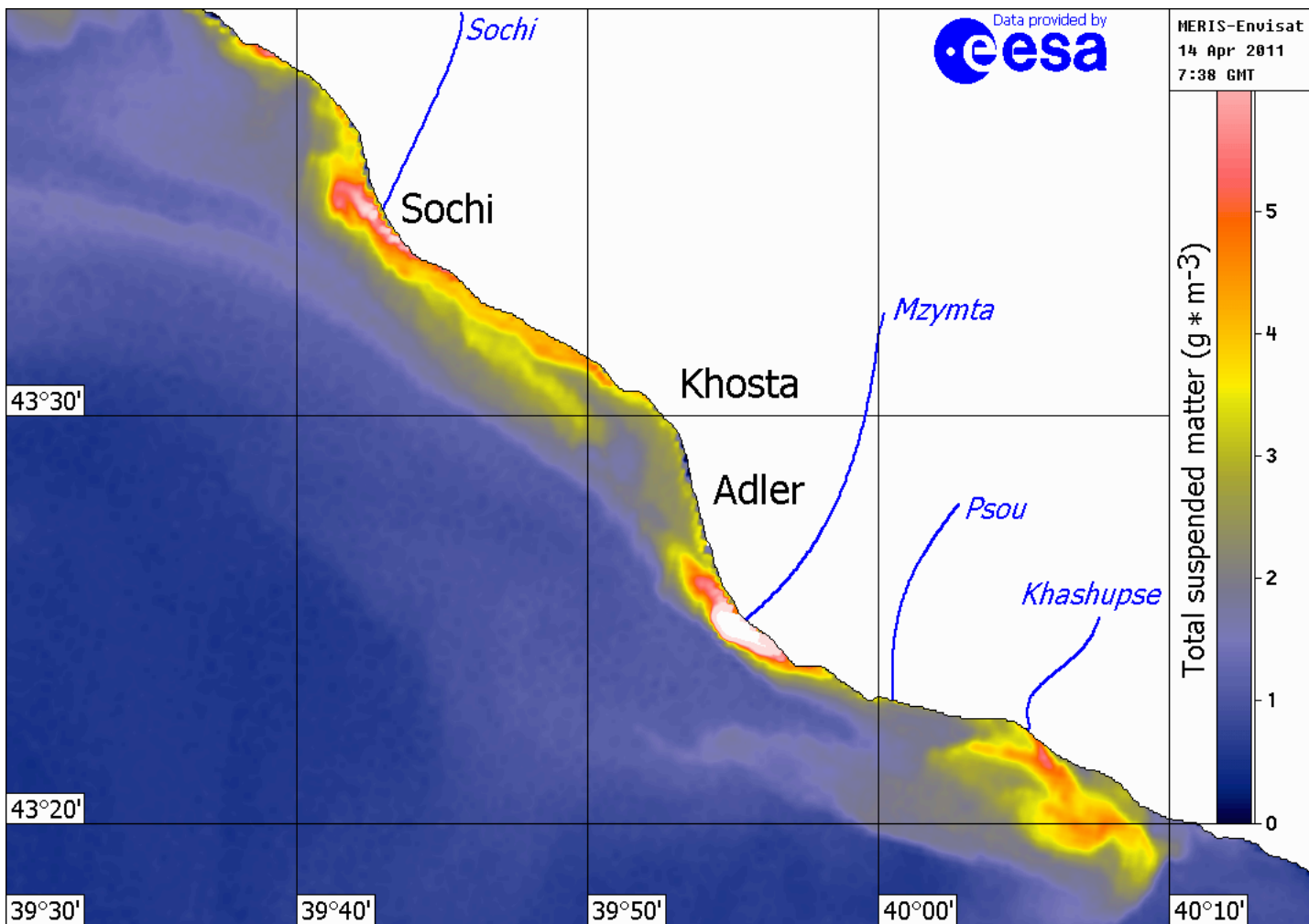
Спутниковые наблюдения



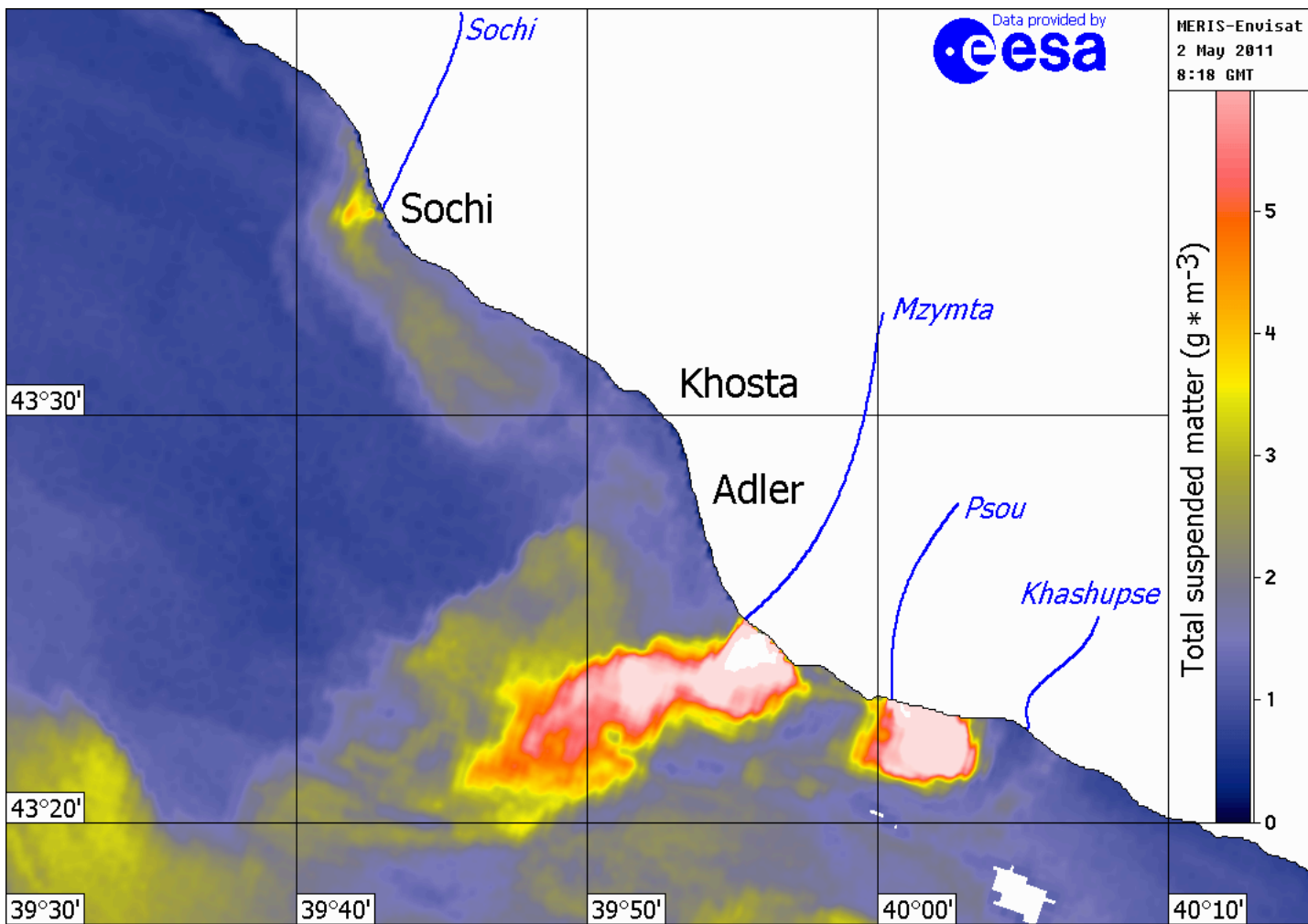
Спутниковые наблюдения



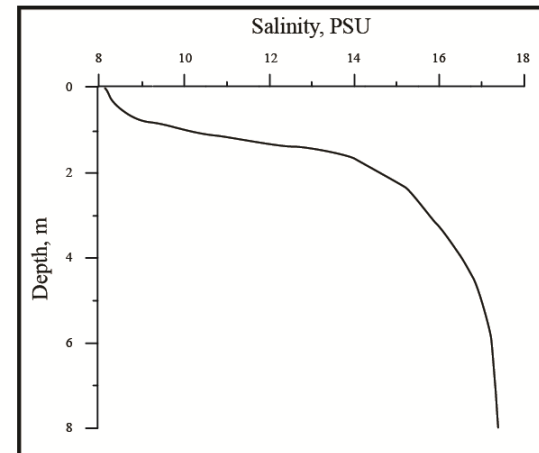
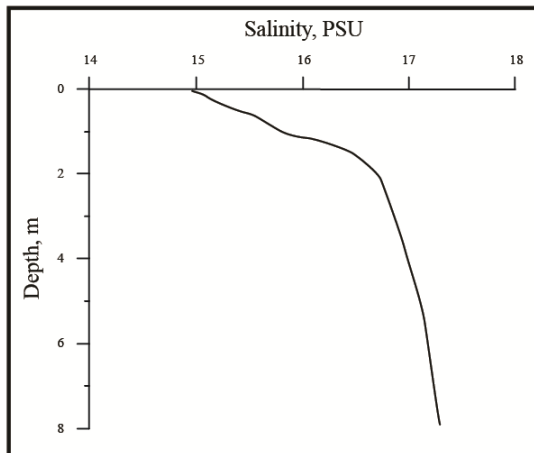
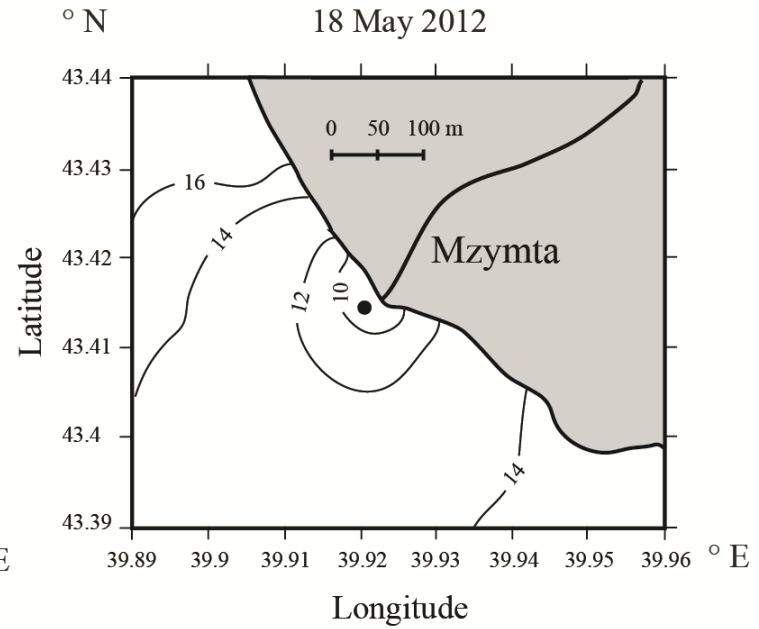
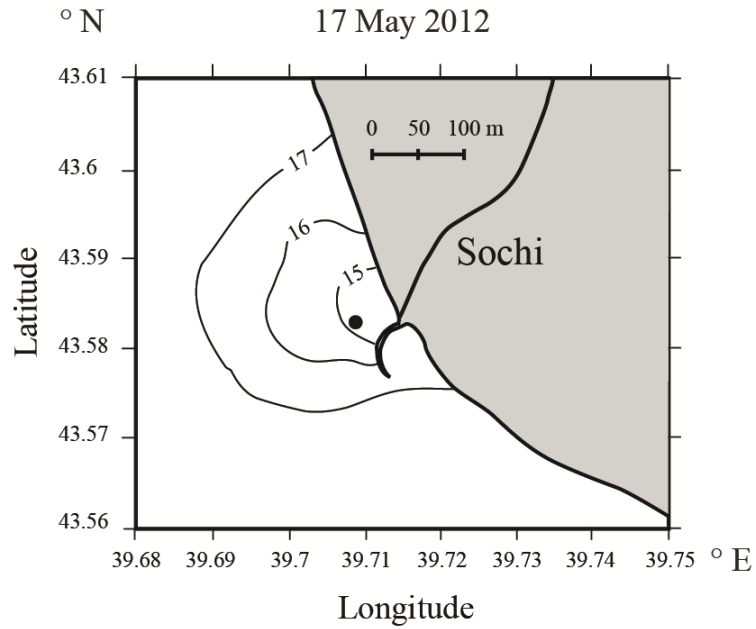
Спутниковые наблюдения



Спутниковые наблюдения

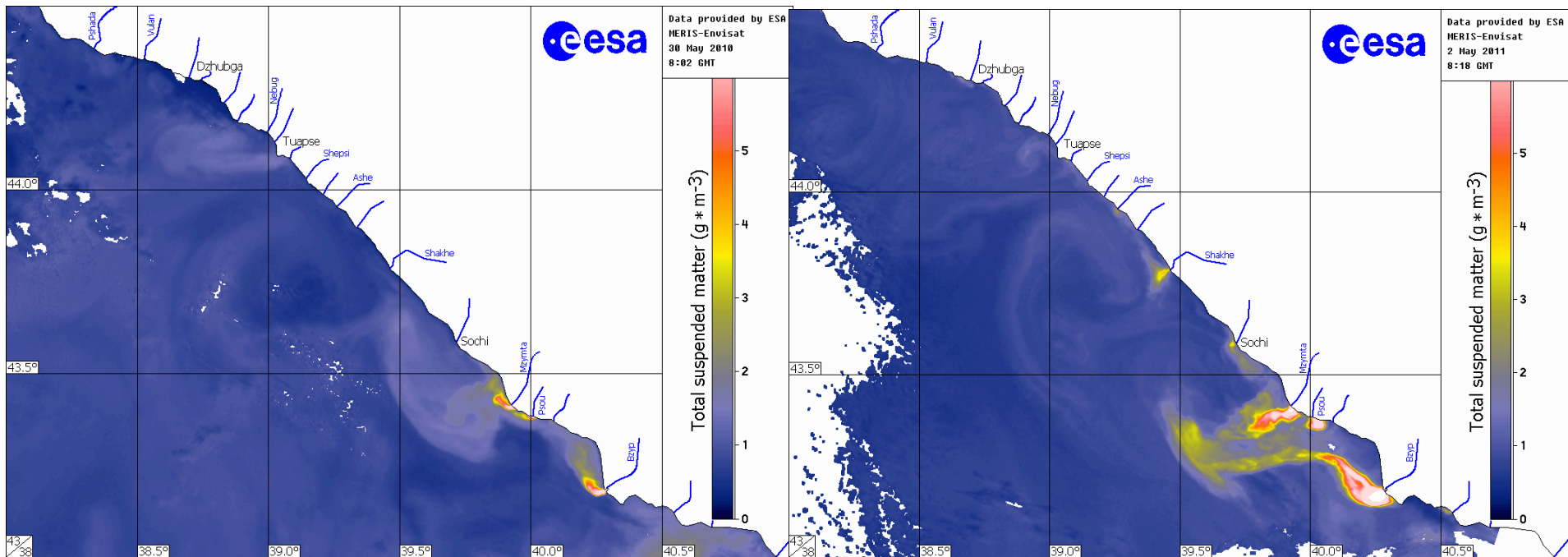


Плюмы малых рек Черного моря



3. Плюмы малых рек северо-
восточного побережья Черного моря
при среднесезонных и паводковых
условиях стока

Речной сток при среднеклиматических и паводковых условиях стока



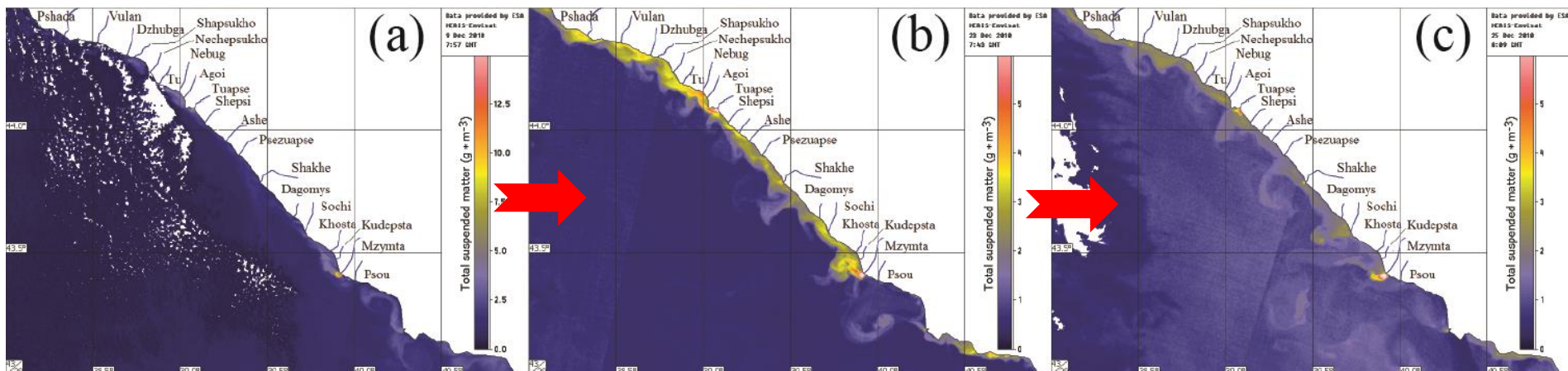
В среднесезонных условиях стока большая часть пресной воды и взвеси выносятся крупными реками данного региона (Мзымта, Псоу, Шахе и Сочи), в то время как влияние более мелких на прибрежные воды незначительно.

Речной сток при среднеклиматических и паводковых условиях стока

4.12.2010

23.12.2010

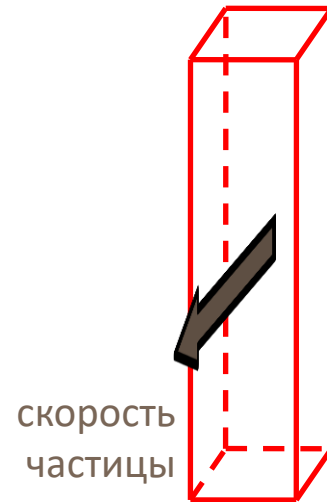
25.12.2010



15-25 раз в год происходит резкое (на порядки) увеличение расхода рек и концентраций взвеси в речном стоке в результате интенсивных дождей.

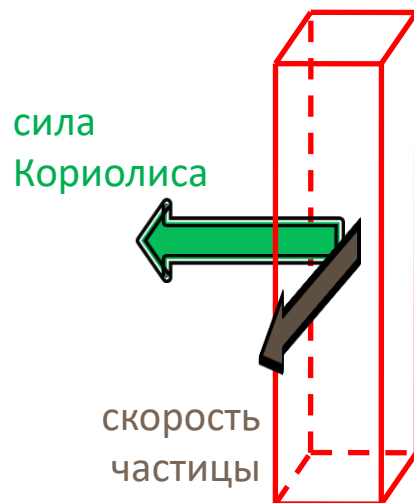
Так, например, дождь 31 июля – 1 августа 1991 вызвал повышение стока р. Туапсе от 0.8 до 2300 m^3/s менее чем за 5 часов, спад стока продолжался 3 дня. Сток во время краткосрочных паводков составляет 65-80% годового стока малых рек.

Речной плюм – баланс сил



Речной плум – баланс сил

сила Кориолиса



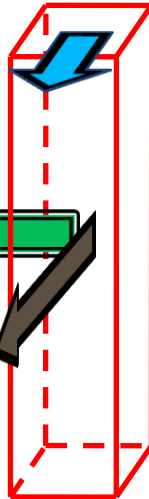
Речной плюм – баланс сил

сила Кориолиса
+
напряжение трения ветра

напряжение
трения ветра

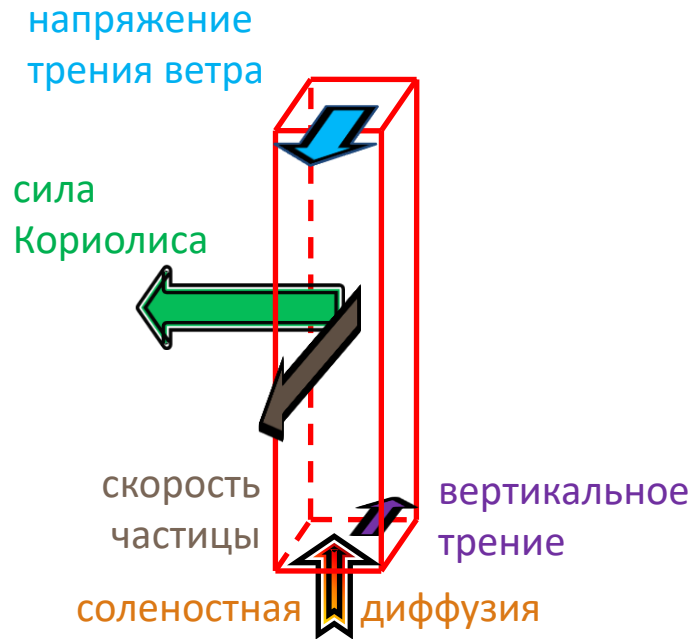
сила
Кориолиса

скорость
частицы



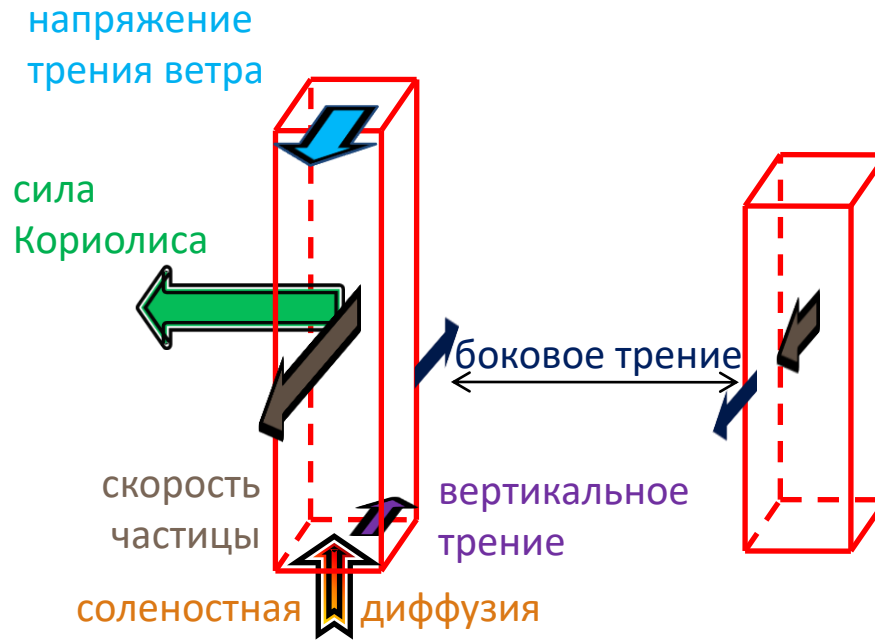
Речной плюм – баланс сил

сила Кориолиса
+
напряжение трения ветра
+
вертикальное трение



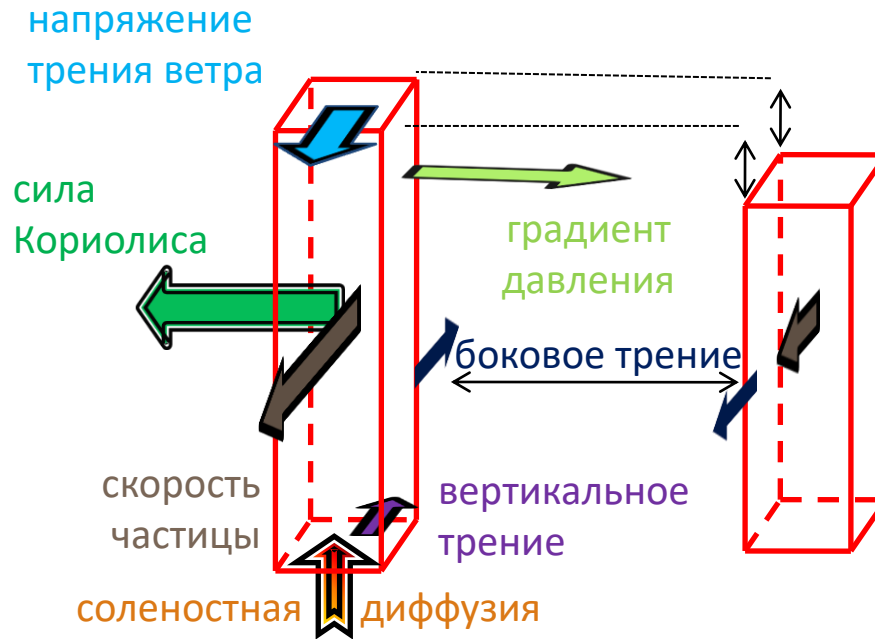
Речной плюм – баланс сил

сила Кориолиса
+
напряжение трения ветра
+
вертикальное трение
+
боковое трение



Речной плюм – баланс сил

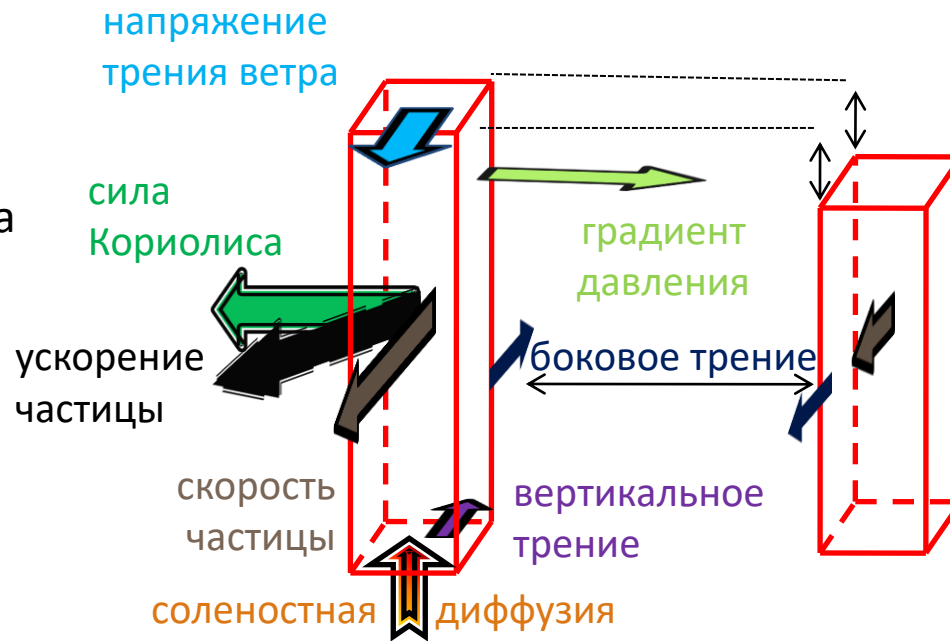
- сила Кориолиса
- + напряжение трения ветра
- + вертикальное трение
- + боковое трение
- + градиент давления



Речной плюм – баланс сил

сила Кориолиса
+
напряжение трения ветра
+
вертикальное трение
+
боковое трение
+
градиент давления
=

ускорение частицы



STRiPE: численная модель речного плюма

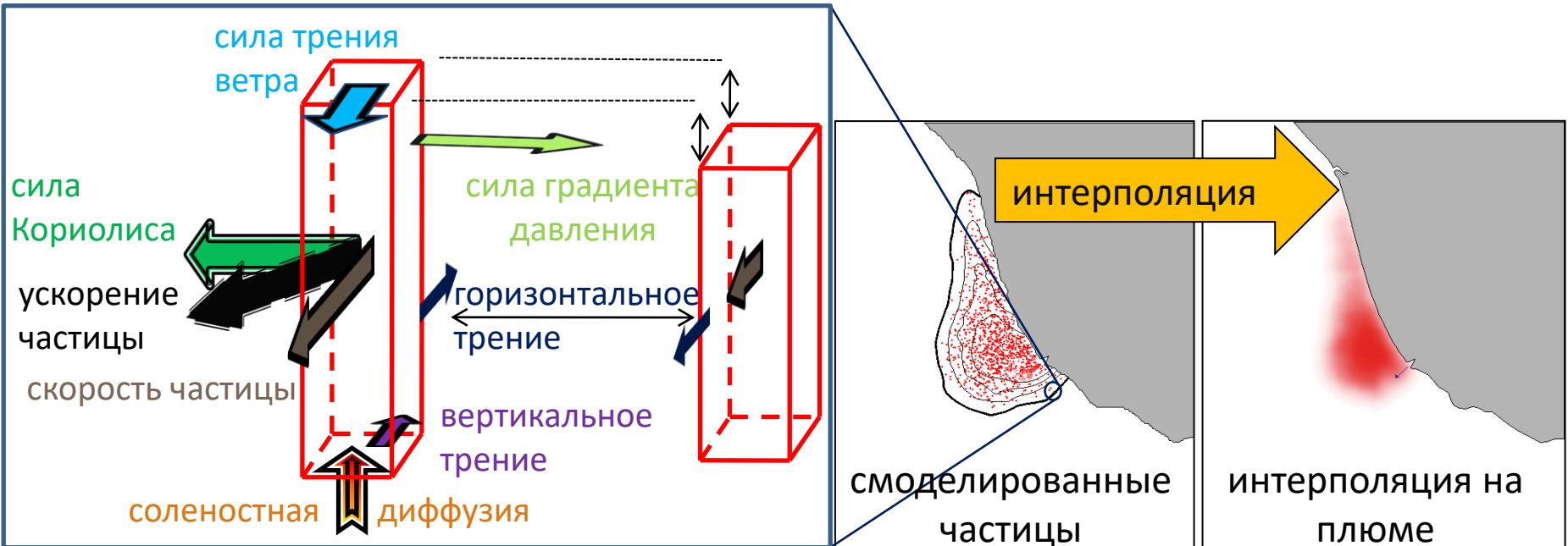
Уравнение сохранения импульса для частицы

сила Кориолиса трение ветра вертикальное трение горизонтальное трение сила градиента давления

$$a_x^{i+1} = f v^i + \frac{\tau_x^i}{\rho^i h^i} - \frac{\mu_v^i u^i - u_{sea}^i}{h^i} + \frac{\mu_h}{h^i} \left(\frac{u_{x+\Delta x, y}^i + u_{x-\Delta x, y}^i - 2u^i}{\Delta x} + \frac{u_{x, y+\Delta y}^i + u_{x, y-\Delta y}^i - 2u^i}{\Delta y} \right) - g \kappa \frac{h_{x+\Delta x, y}^i - h_{x-\Delta x, y}^i}{\Delta x}$$

$$a_y^{i+1} = -f u^i + \frac{\tau_y^i}{\rho^i h^i} - \frac{\mu_v^i v^i - v_{sea}^i}{h^i} + \frac{\mu_h}{h^i} \left(\frac{v_{x+\Delta x, y}^i + v_{x-\Delta x, y}^i - 2v^i}{\Delta x} + \frac{v_{x, y+\Delta y}^i + v_{x, y-\Delta y}^i - 2v^i}{\Delta y} \right) - g \kappa \frac{h_{x, y+\Delta y}^i - h_{x, y-\Delta y}^i}{\Delta y}$$

Схема сил, воздействующих на элементарную частицу плюма

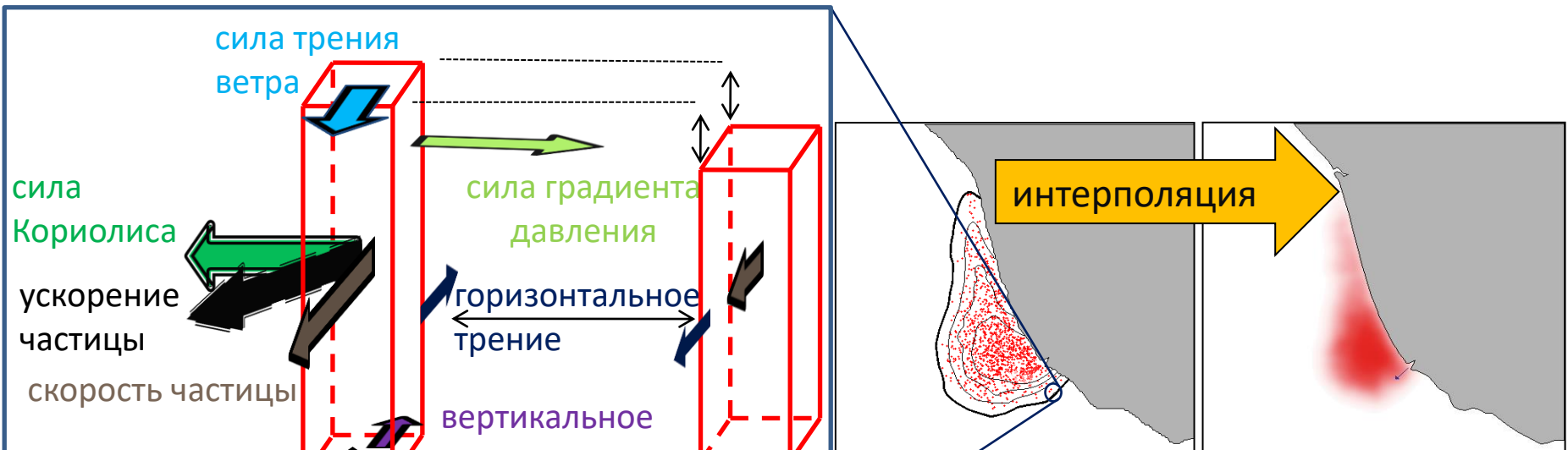


STRiPE: численная модель речного плюма

Уравнение сохранения импульса для частицы

сила Кориолиса	трение ветра	вертикальное трение	горизонтальное трение	сила градиента давления
$a_x^{i+1} = f v^i + \frac{\tau_x^i}{\rho^i h^i} - \frac{\mu_v^i u^i - u_{sea}^i}{h^i} + \frac{\mu_h}{h^i} \left(\frac{u_{x+\Delta x, y}^i + u_{x-\Delta x, y}^i - 2u^i}{\Delta x} + \frac{u_{x, y+\Delta y}^i + u_{x, y-\Delta y}^i - 2u^i}{\Delta y} \right) - g \kappa \frac{h_{x+\Delta x, y}^i - h_{x-\Delta x, y}^i}{\Delta x}$				
$a_y^{i+1} = -f u^i + \frac{\tau_y^i}{\rho^i h^i} - \frac{\mu_v^i v^i - v_{sea}^i}{h^i} + \frac{\mu_h}{h^i} \left(\frac{v_{x+\Delta x, y}^i + v_{x-\Delta x, y}^i - 2v^i}{\Delta x} + \frac{v_{x, y+\Delta y}^i + v_{x, y-\Delta y}^i - 2v^i}{\Delta y} \right) - g \kappa \frac{h_{x, y+\Delta y}^i - h_{x, y-\Delta y}^i}{\Delta y}$				

Схема сил, воздействующих на элементарную частицу плюма



Более подробно: *Osadchiev and Zavialov*. Lagrangian model of a surface-advected river plume. *Continental Shelf Research*. 2013.

STRiPE: численная модель речного плюма

$$a_x^{i+1} = -f u_y^i + \frac{\tau_x^i}{\rho^i h^i} + \frac{\mu_h u_x^i - v_{sea,x}}{h^i} \frac{\Delta z}{\Delta x} + \mu_v \frac{\Delta u_x^i}{\Delta x} - g \kappa \frac{\Delta h^i}{\Delta x};$$

$$a_y^{i+1} = f u_x^i + \frac{\tau_y^i}{\rho^i h^i} + \frac{\mu_h u_y^i - v_{sea,y}}{h^i} \frac{\Delta z}{\Delta y} + \mu_v \frac{\Delta u_y^i}{\Delta y} - g \kappa \frac{\Delta h^i}{\Delta y}$$

$$x^{i+1} = x^i + v_x^i \Delta t + \sqrt{2D_h \Delta t} \eta_x; y^{i+1} = y^i + v_y^i \Delta t + \sqrt{2D_h \Delta t} \eta_y$$

$$D_h = \zeta_h \sqrt{\left(\frac{\Delta u_x}{\Delta x}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta u_y}{\Delta x} + \frac{\Delta u_x}{\Delta y}\right) + \left(\frac{\Delta u_y}{\Delta y}\right)^2} \left[\frac{m}{s}\right]$$

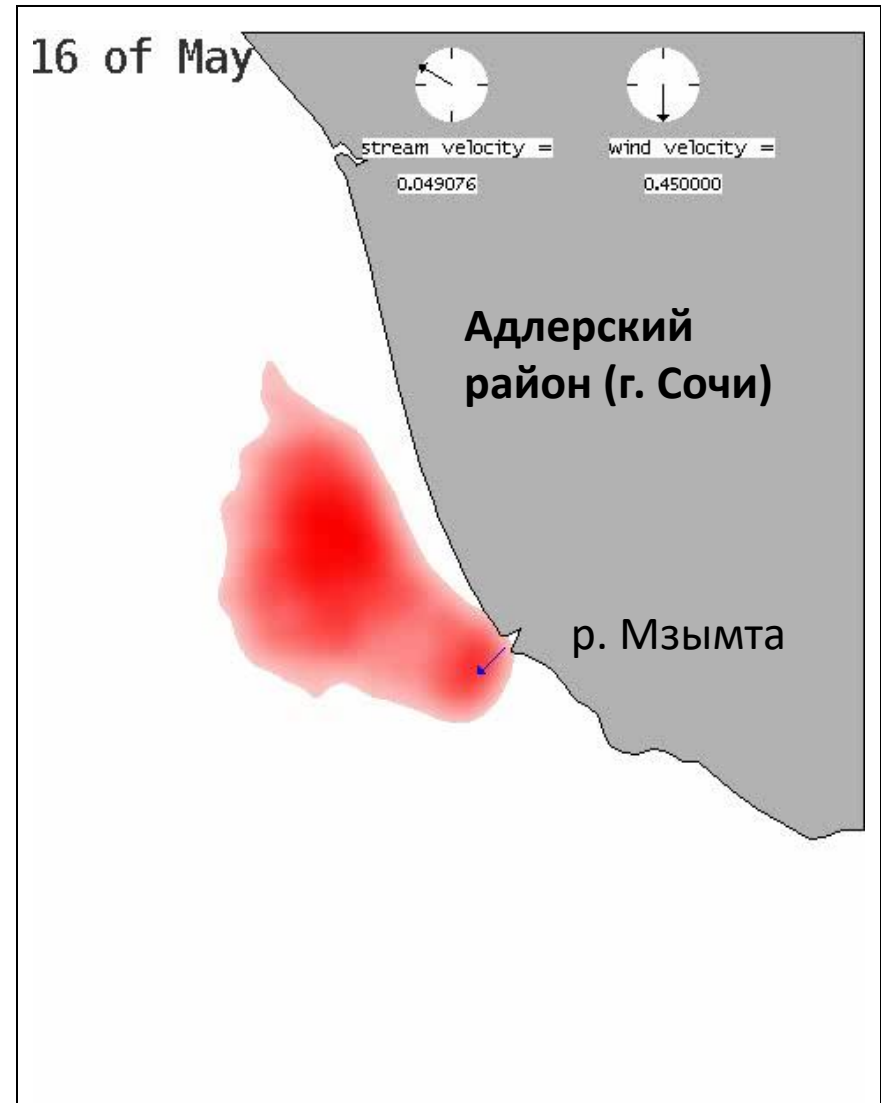
$$D_v = \zeta_v (1 - \min(1, Ri)^2)^3 \left[\frac{m}{s}\right]$$

Входные параметры: ветер,
фоновая циркуляция, речной
расход

Турбулентность: схема случайных
блужданий

Горизонтальная диффузия:
формула Смагоринского

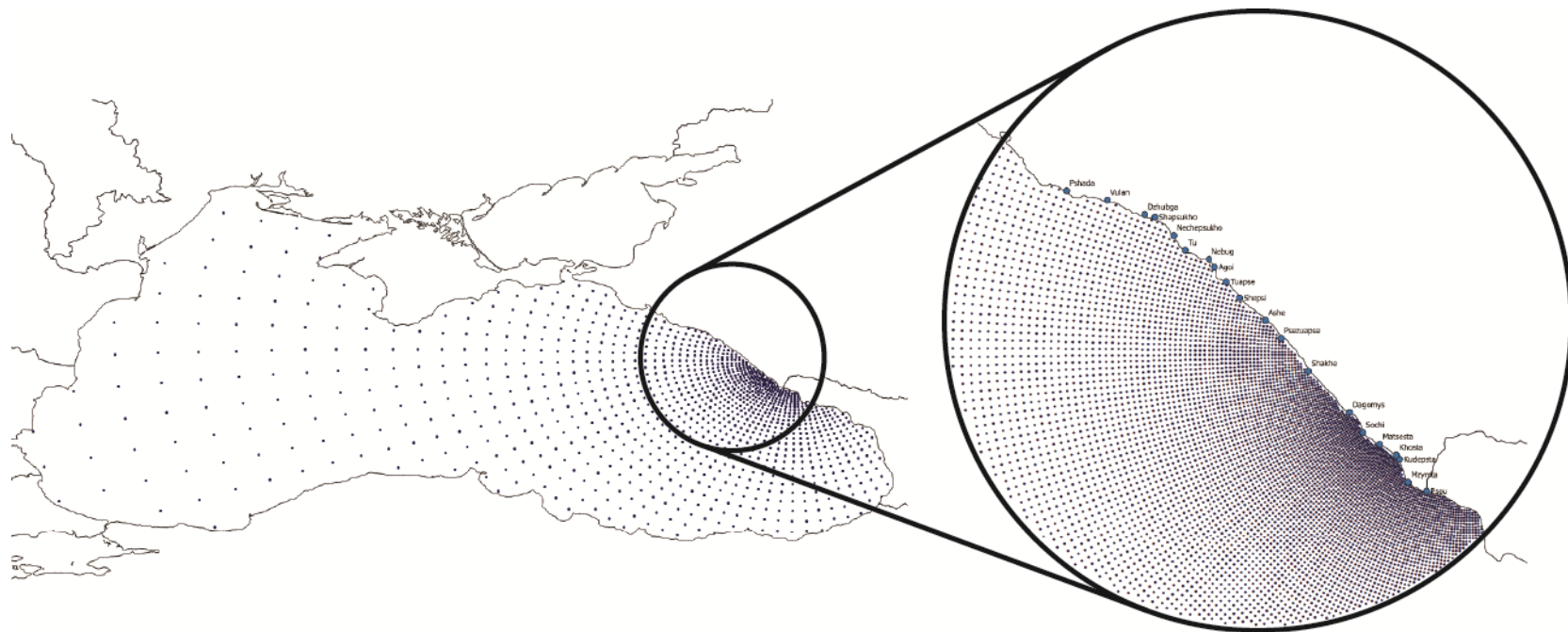
Вертикальная диффузия: $\sim(1-Ri^2)^3$



STRiPE + INMOM

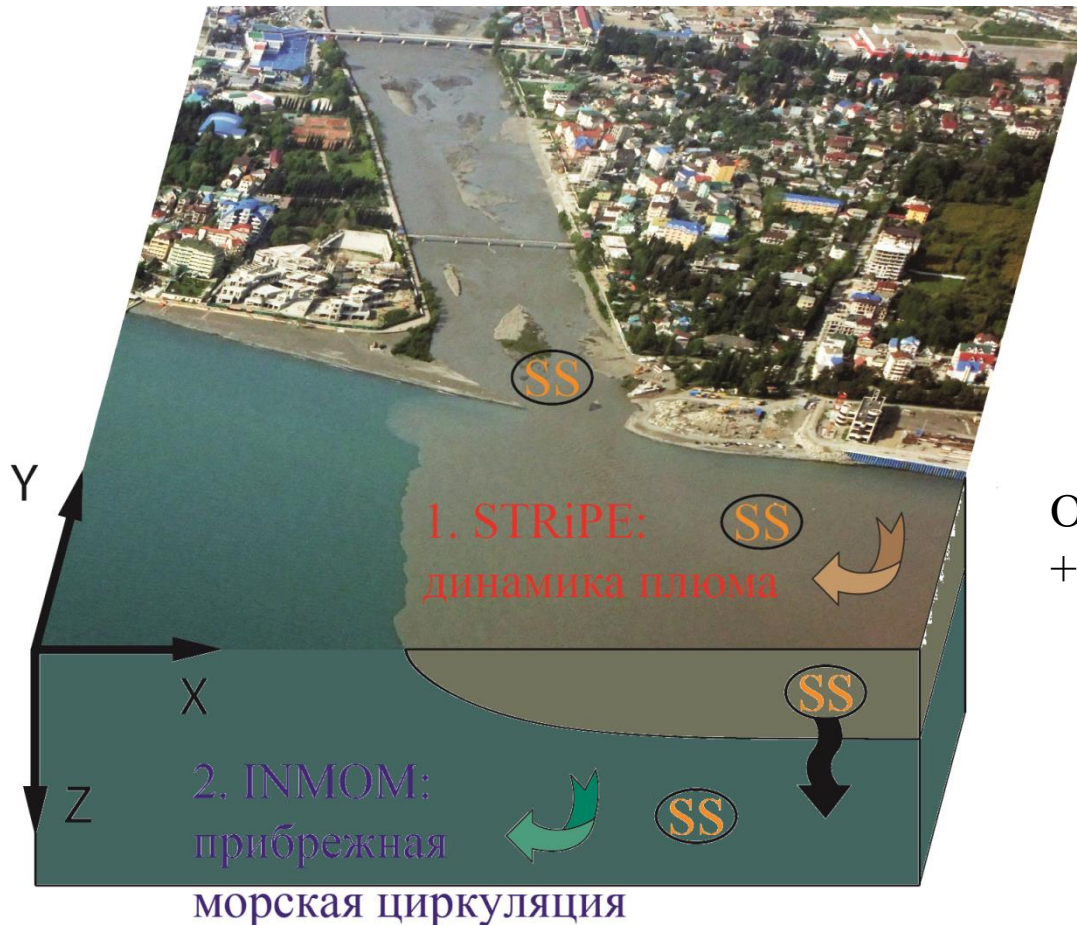
INMOM: Мезомасштабная циркуляция Черного моря с повышенным пространственным разрешением у северо-восточного побережья

STRiPE: Субмезомасштабная динамика речных плюмов



STRiPE + INMOM + перенос взвеси

Терригенная взвесь рассматривается как пассивный трассер, поступающий в море с речным стоком. Вначале перенос взвеси задается полем скоростей плюма, задаваемый моделью STRiPE. После оседания взвеси ниже границы плюма и моря, ее перенос задается полем скоростей окружающего моря, задаваемый моделью INMOM.



$$w_s = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_w)}{18\mu\rho_w}$$

$$\Delta z = \left(w_s + \frac{\partial K}{\partial z} \right) \Delta t + \sqrt{\frac{2}{3} K_v \left(z + \frac{1}{2} \frac{\partial K_v}{\partial z} \Delta t \right)} \Delta t \xi$$

Оседание взвеси: закон Стокса + поправка на турбулентность

STRiPE + INMOM + перенос взвеси

Терригенная взвесь рассматривается как пассивный трассер, поступающий в море с речным стоком. Вначале перенос взвеси задается полем скоростей плюма, задаваемый моделью STRiPE. После оседания взвеси ниже границы плюма и моря, ее перенос задается полем скоростей окружающего моря, задаваемый моделью INMOM.



$$w_s = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_w)}{18\mu\rho_w}$$

$$\Delta z = \left(w_s + \frac{\partial K}{\partial z} \right) \Delta t + \sqrt{\frac{2}{3} K_v \left(z + \frac{1}{2} \frac{\partial K_v}{\partial z} \Delta t \right)} \Delta t \xi$$

Оседание взвеси: закон Стокса + поправка на неоднородность турбулентности

Более подробно: *Osadchiev et al.* Transport and bottom accumulation of fine river sediments under typhoon conditions and associated submarine landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016

STRiPE + INMOM + перенос взвеси

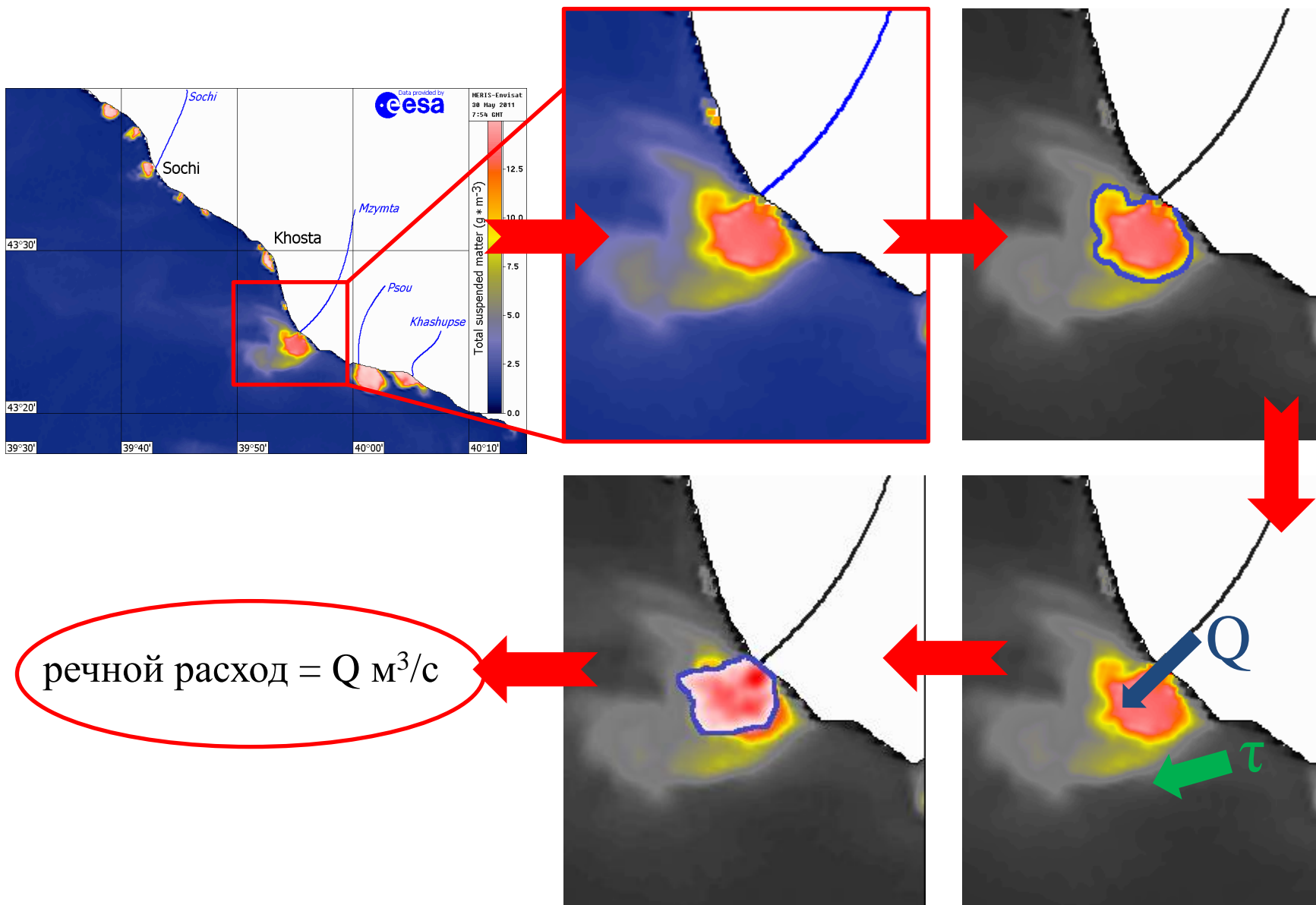
входные данные для STRiPE

ветер: модель WRF

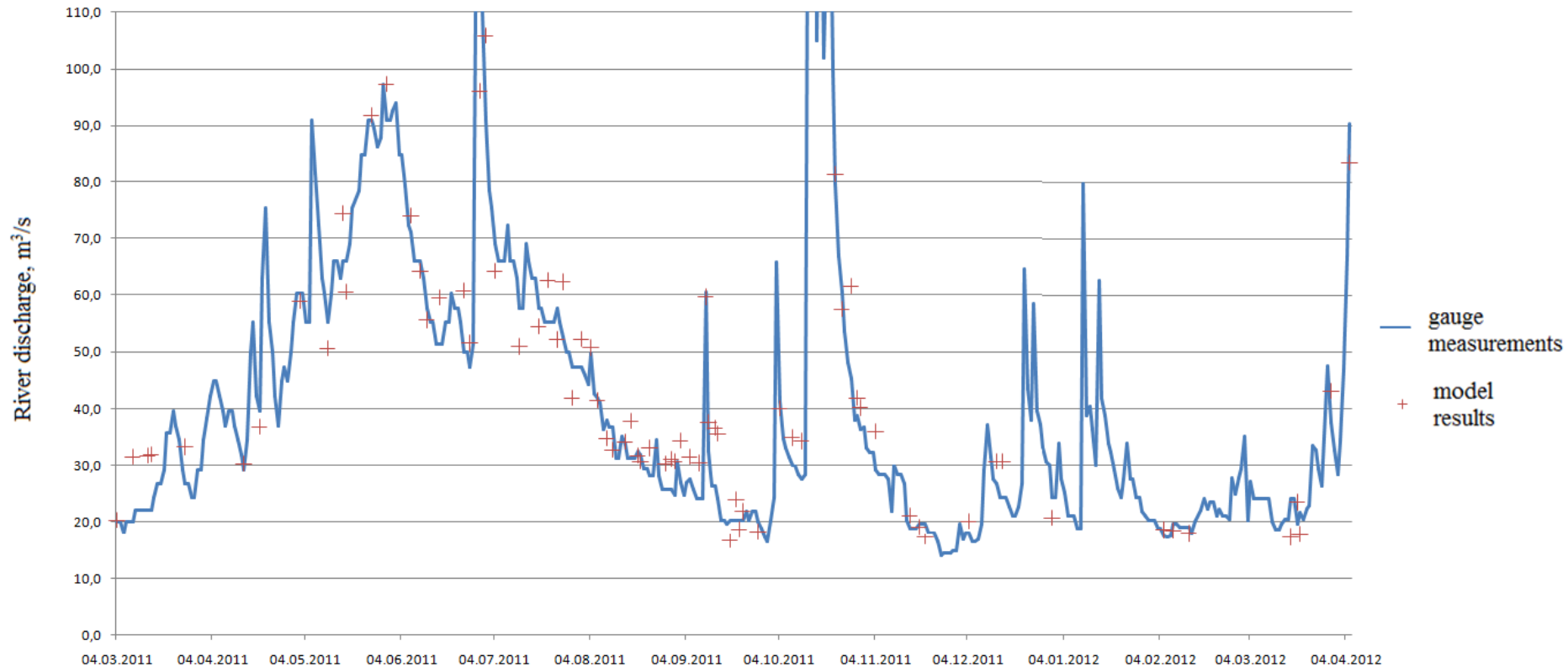
прибрежная циркуляция: модель INMOM

речной расход: ?

Модель расчета расхода малых рек

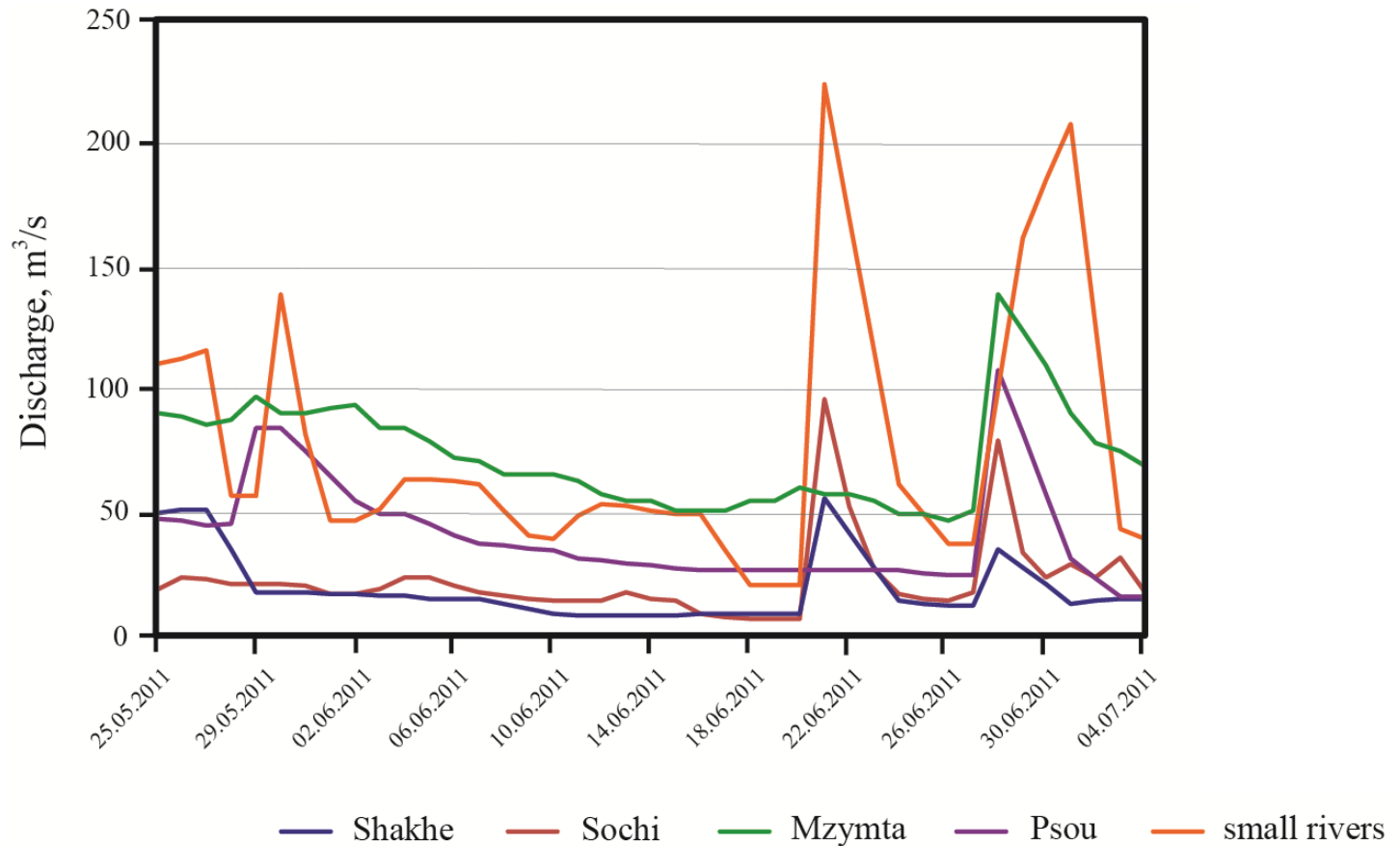


Модель расчета расхода малых рек



Более подробно: *Osadchiev*. A method for quantifying freshwater discharge rates from satellite observations and Lagrangian numerical modeling of river plumes. *Environmental Research Letters*. 2013.

Расчет расхода малых рек



25 мая – 4 июля 2011

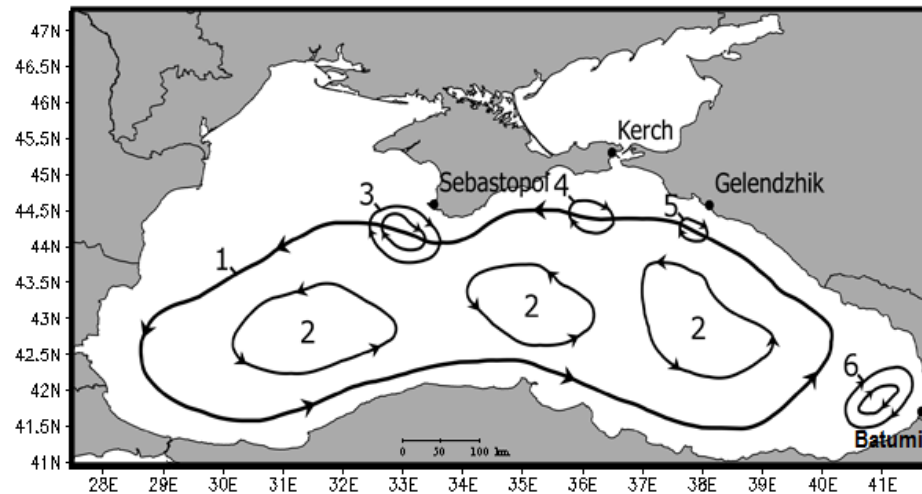
Расчет расхода малых рек



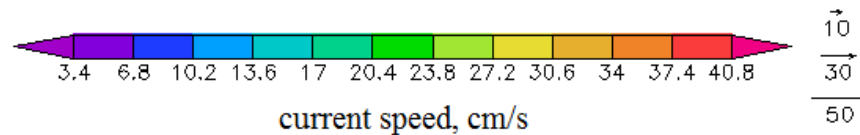
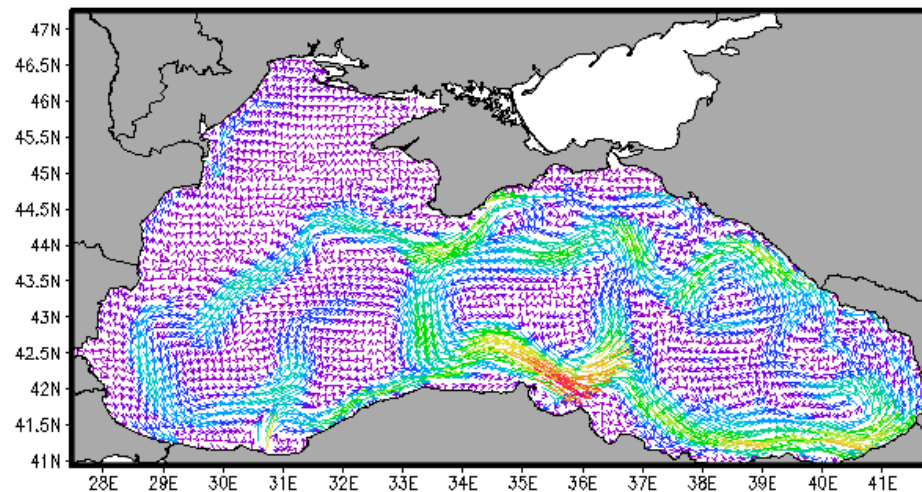
В среднесезонных условиях стока большая часть пресной воды (65-85%) выносится крупными реками данного региона (Мзымта, Псоу, Шахе и Сочи), в то время как вклад более мелких рек незначителен. Во время интенсивных дождевых паводков доля стока малых рек значительно повышается, вплоть до 80%.

INMOM: верификация

общая схема циркуляции
Черного моря

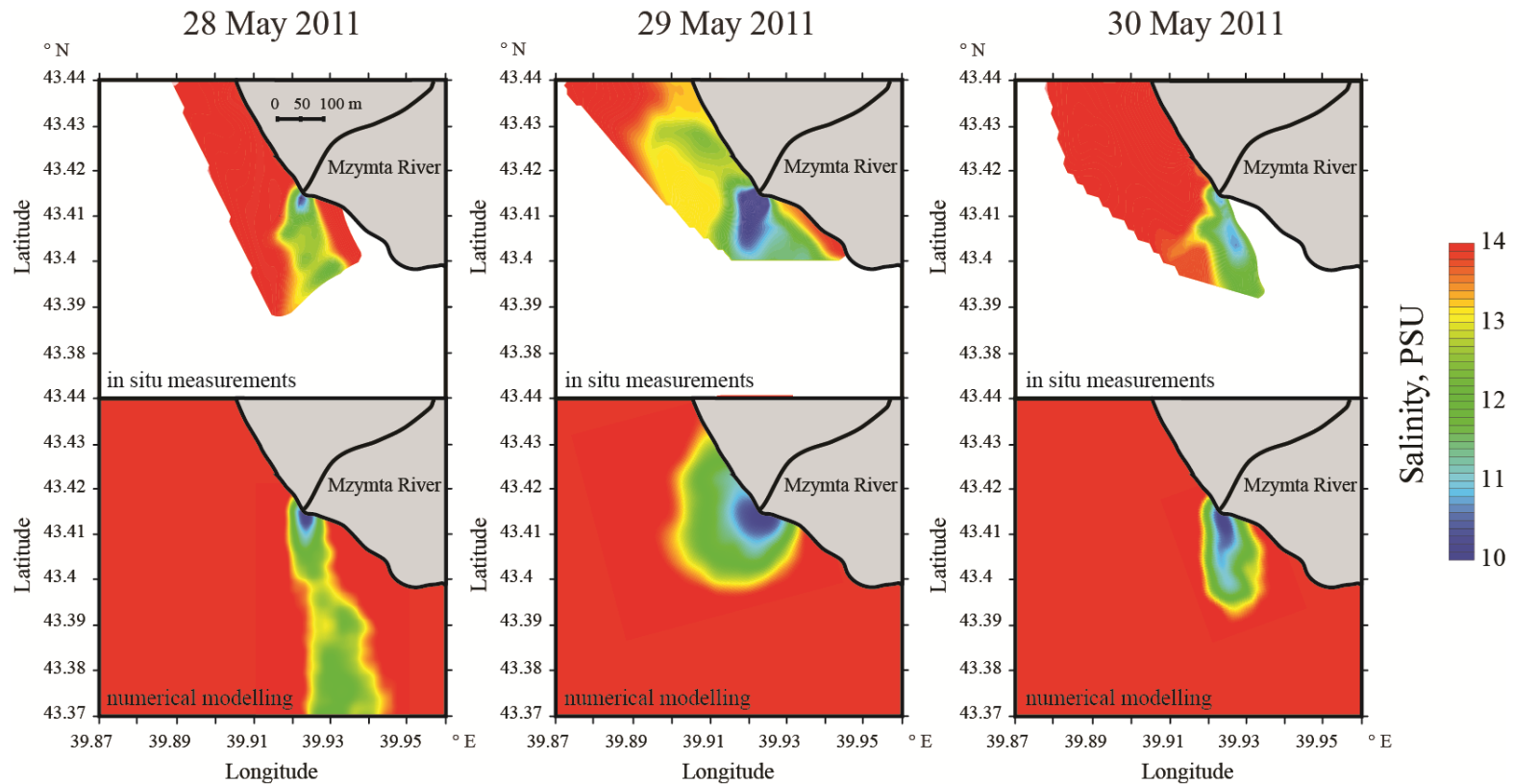


средняя скорость течений
в июне 2011 года на
глубине 10 м



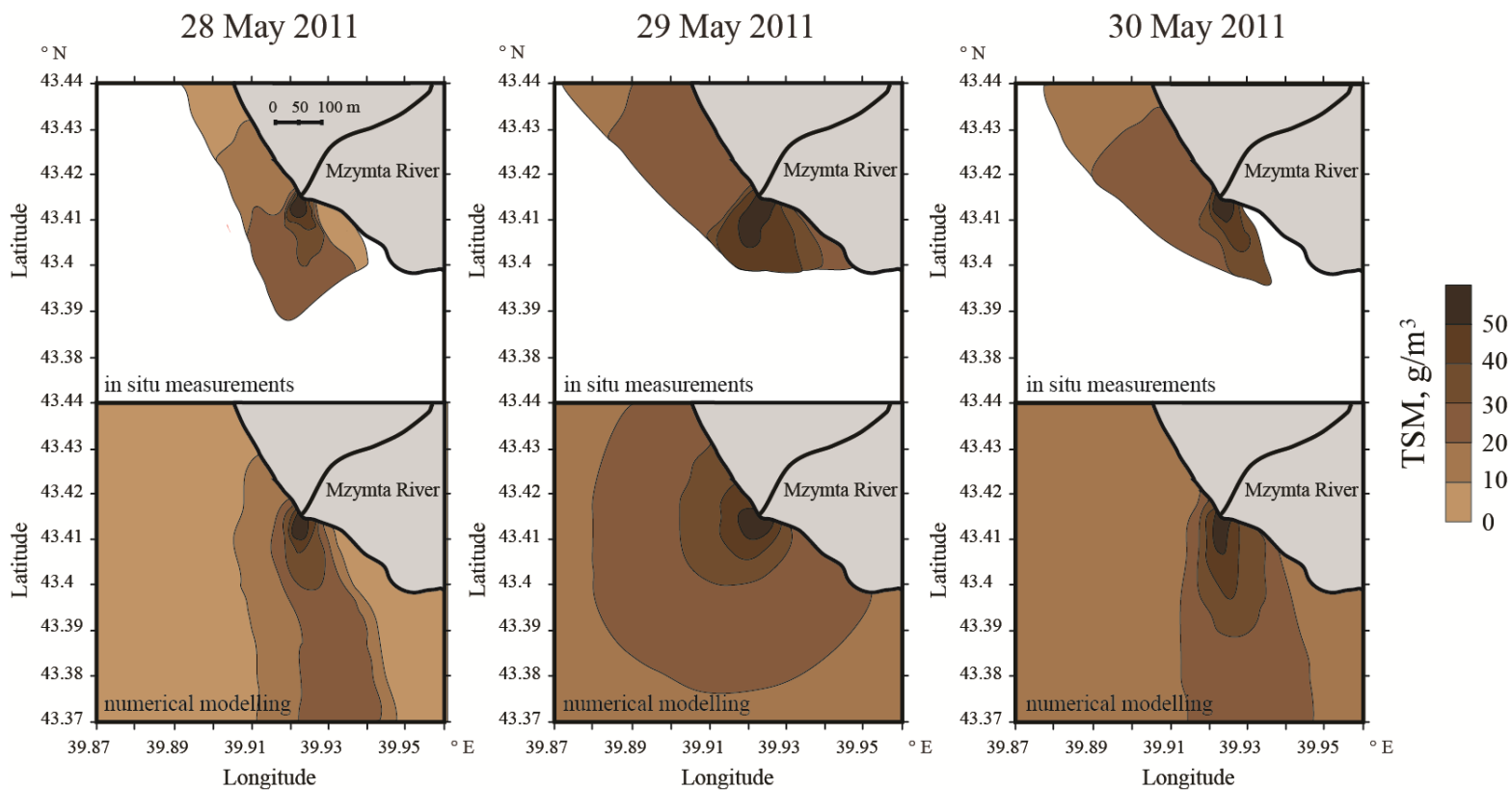
STRiPE + INMOM: верификация

численное моделирование
натурные измерения



STRiPE + INMOM + перенос взвеси: верификация

натурные измерения
численное моделирование



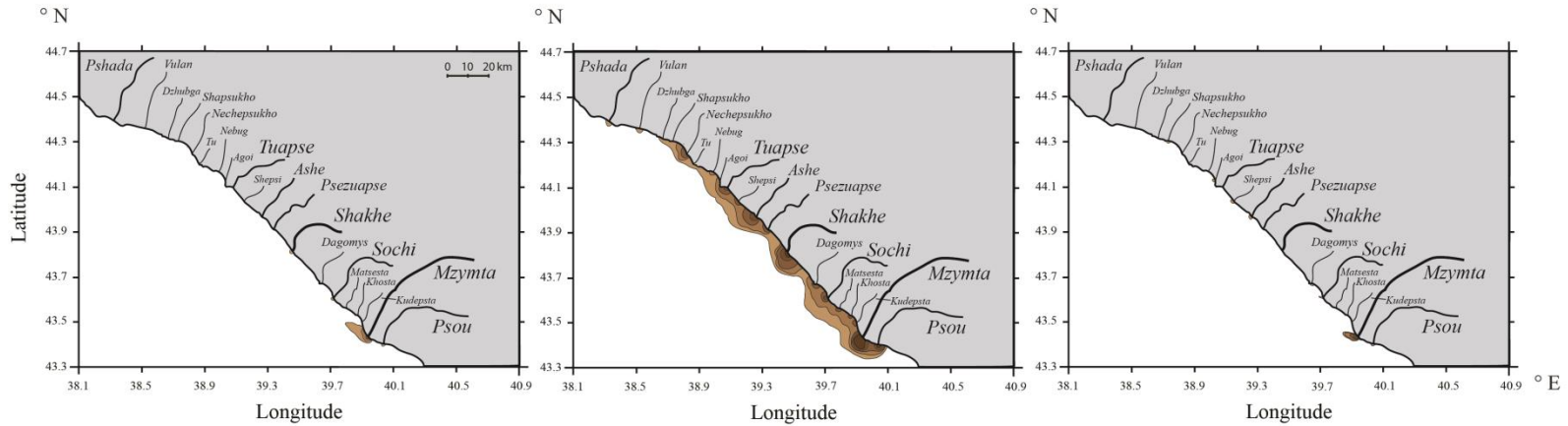
Речной сток при среднеклиматических и паводковых условиях стока

26 June 2011

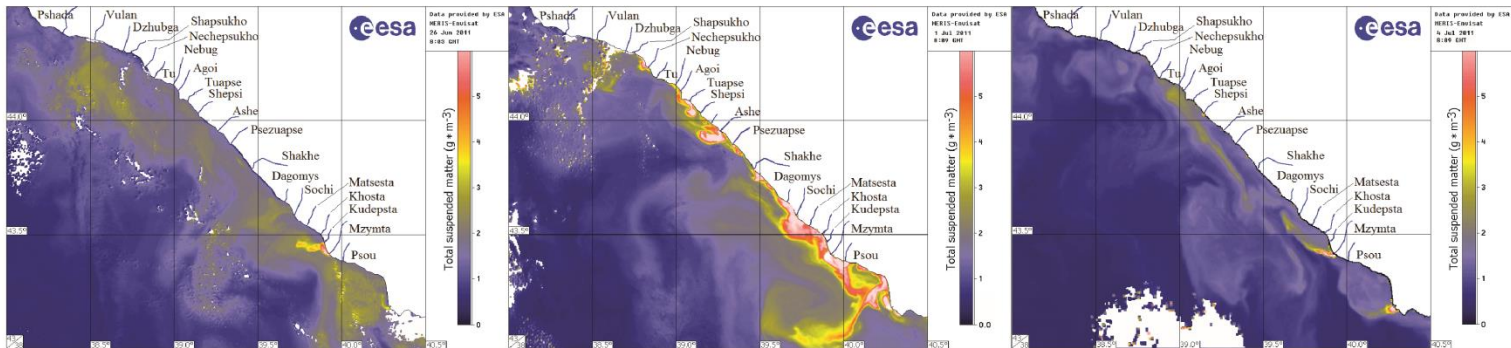
1 July 2011

4 July 2011

численное
моделирование

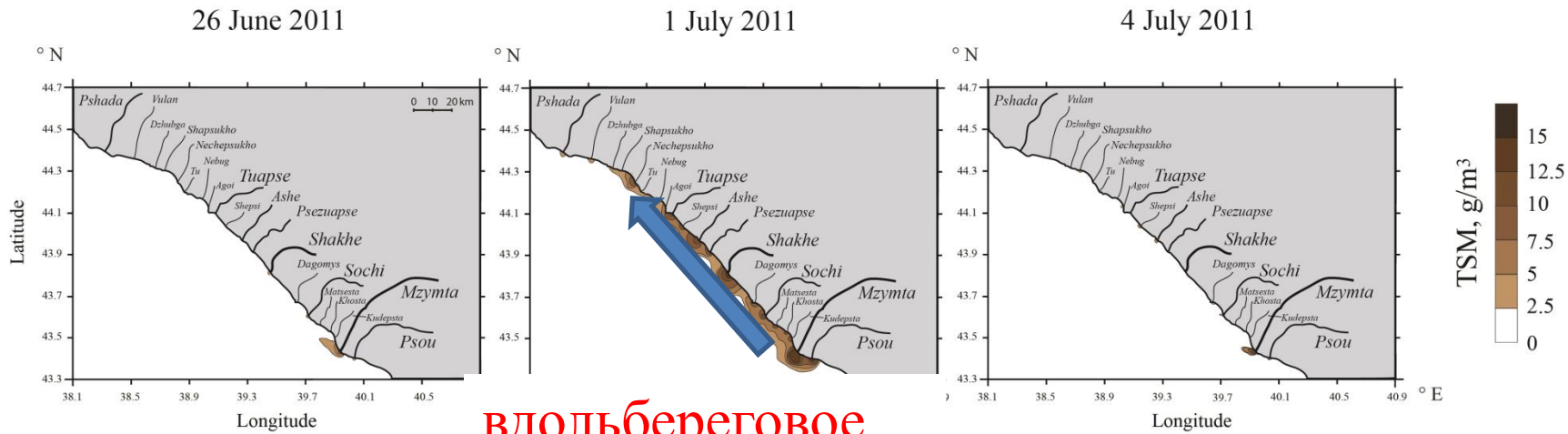


спутниковый
снимок



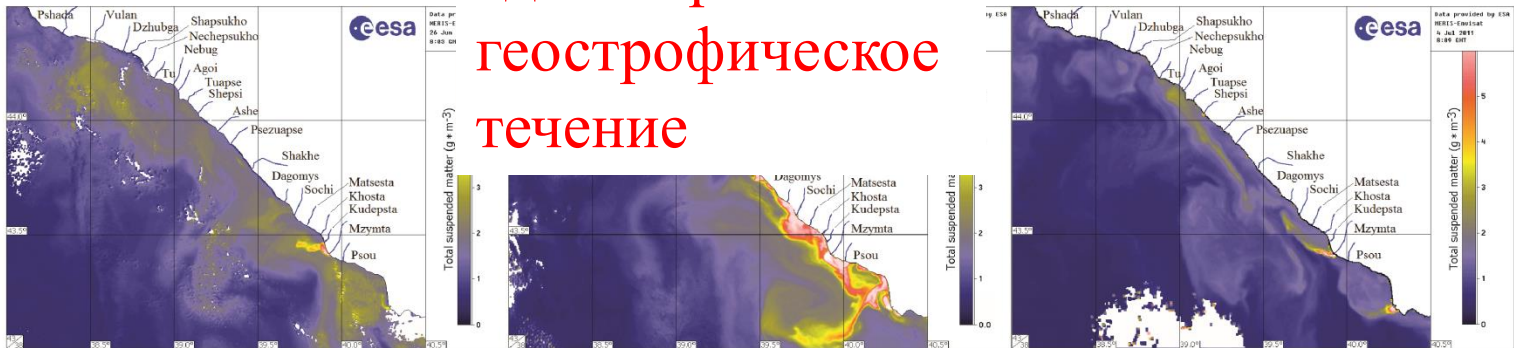
Речной сток при среднеклиматических и паводковых условиях стока

численное
моделирование



вдольбереговое
геострофическое
течение

спутниковый
снимок



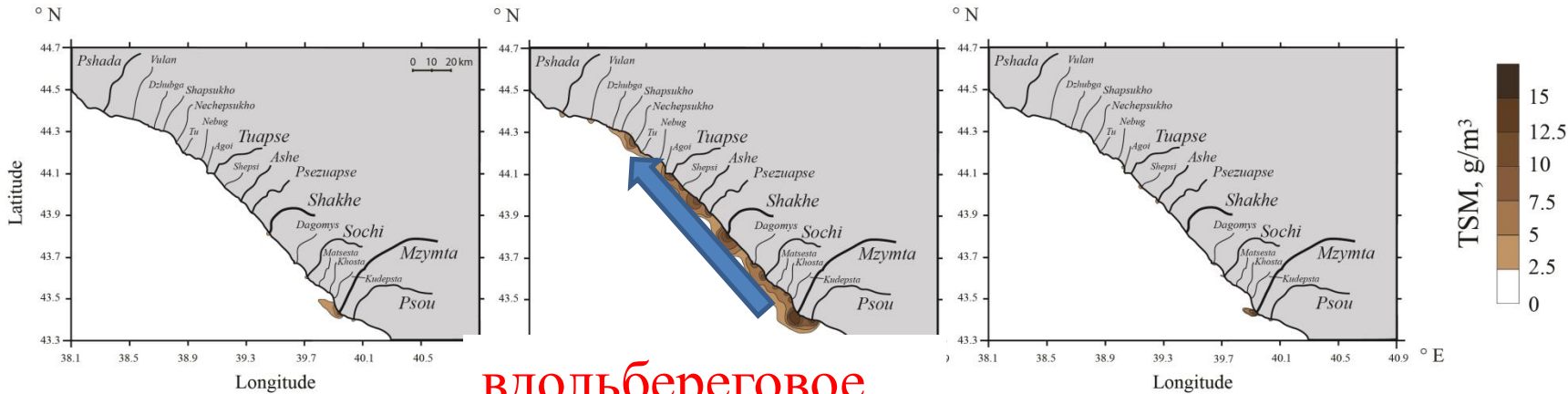
Речной сток при среднеклиматических и паводковых условиях стока

26 June 2011

1 July 2011

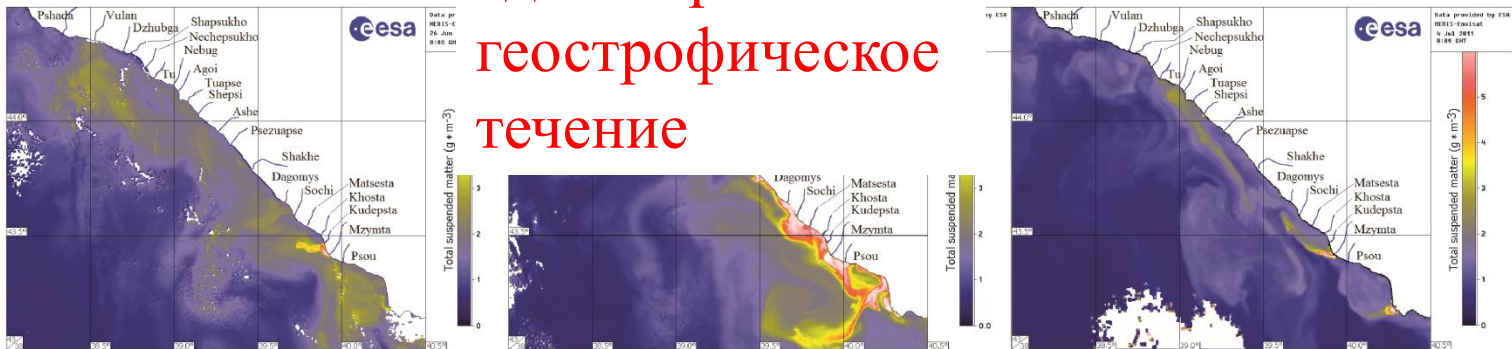
4 July 2011

численное
моделирование



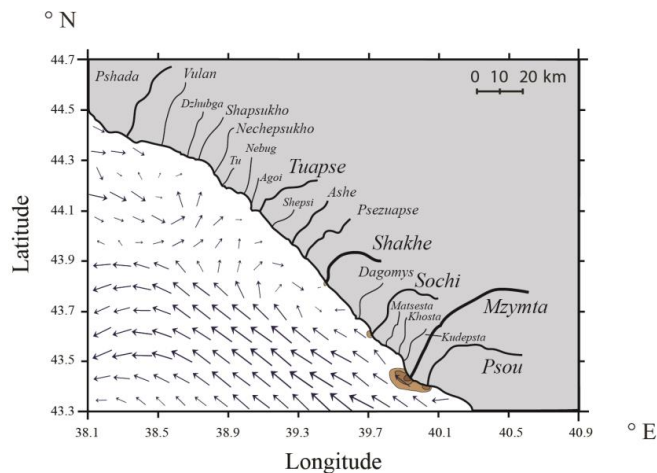
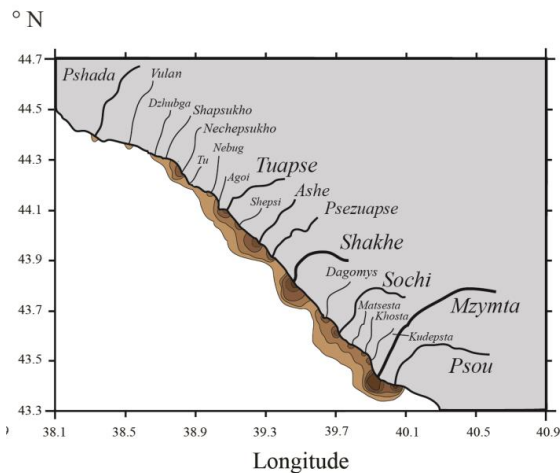
вдольбереговое
геострофическое
течение

спутниковый
снимок

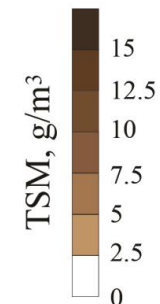
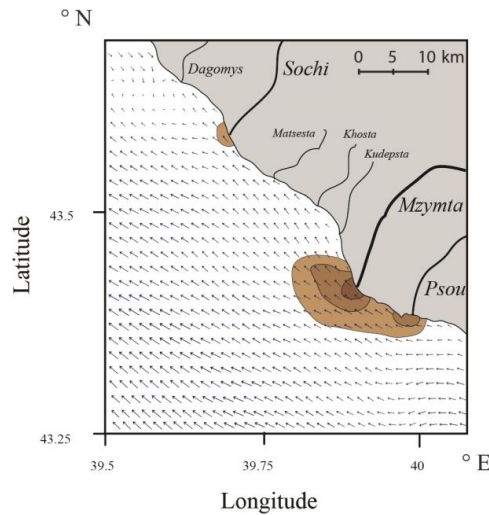
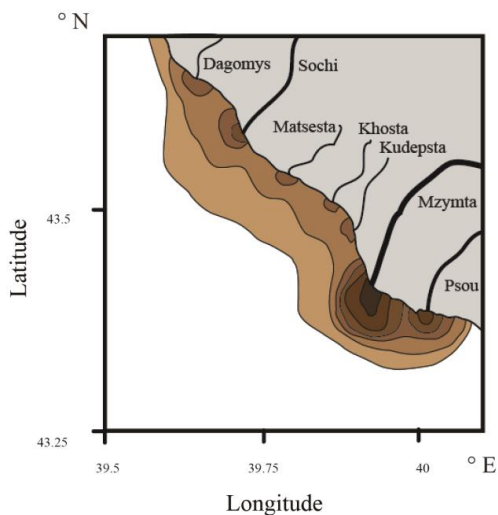


При паводке вдоль значительных участков побережья может формироваться сплошная полоса опресненных вод, характеризующихся пониженной соленостью и повышенной мутностью. Эта полоса может сохраняться в течение нескольких дней после окончания паводка и существенным образом влияет на перенос, перемешивание и осаждение взвешенных и растворенных веществ.

Перенос взвеси при среднеклиматических и паводковых условиях стока



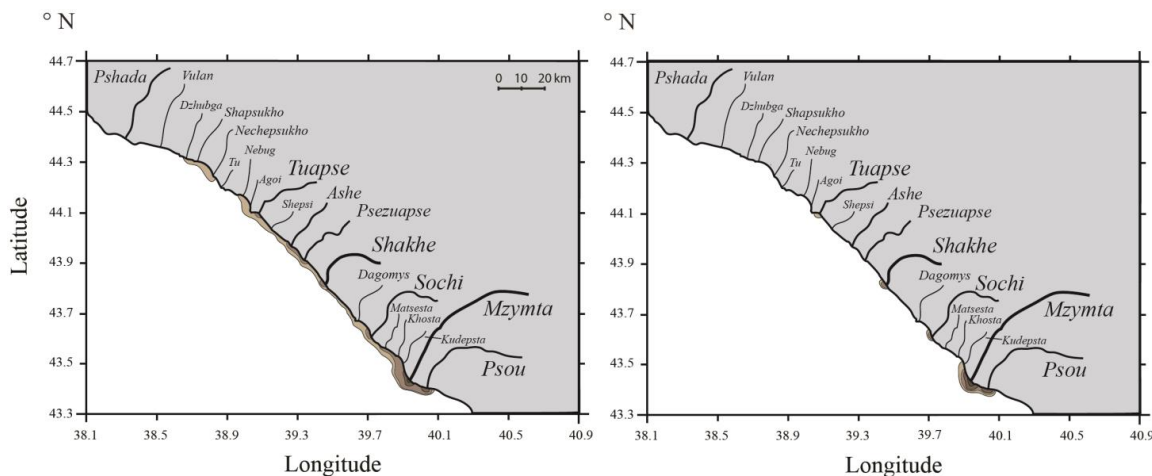
1 июля
2011 года



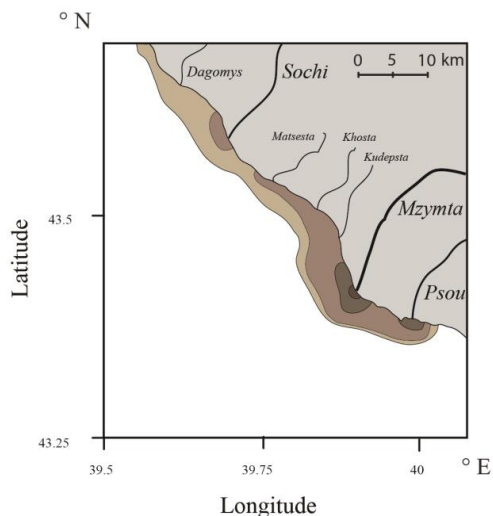
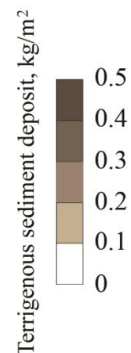
реальный сток

осредненный сток

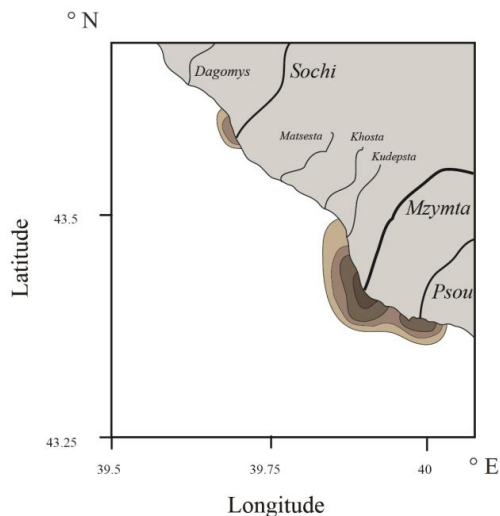
Перенос взвеси при среднеклиматических и паводковых условиях стока



оседание
терригенной
взвеси на дно

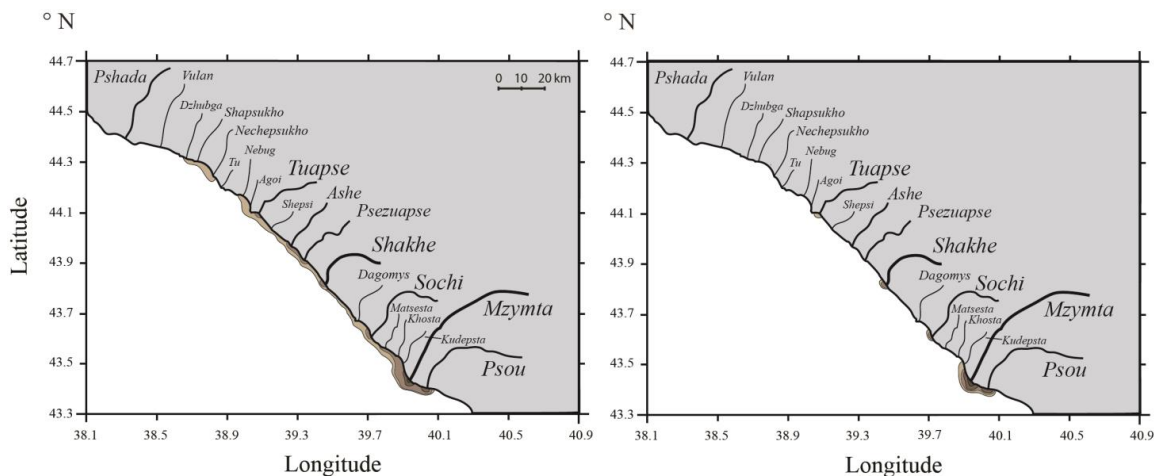


реальный сток

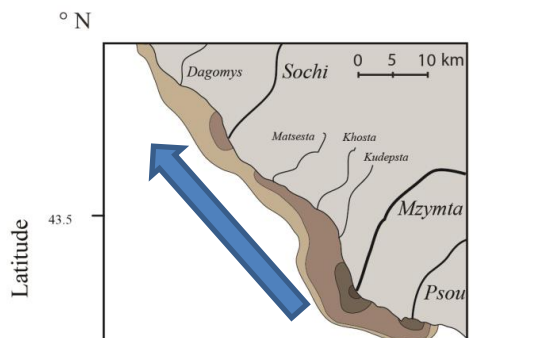
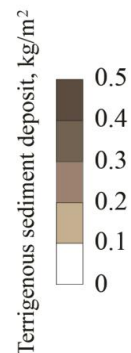


осредненный сток

Перенос взвеси при среднеклиматических и паводковых условиях стока

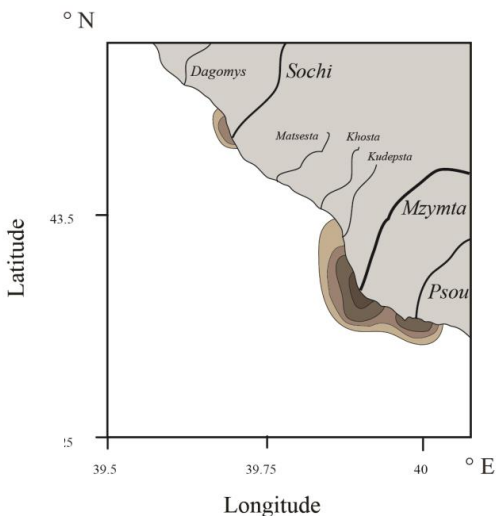


оседание
терригенной
взвеси на дно



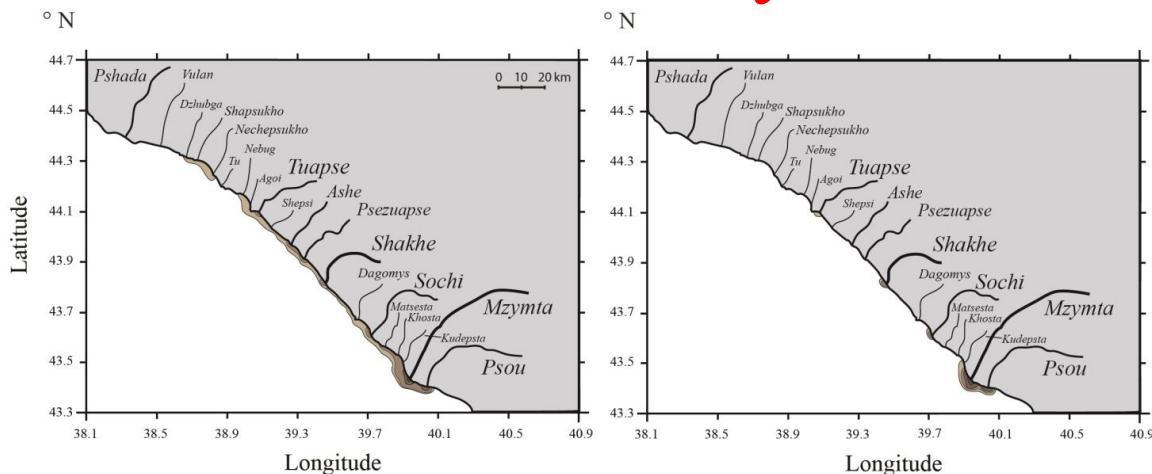
перераспределение
взвеси вдоль берега

реальный сток



осредненный сток

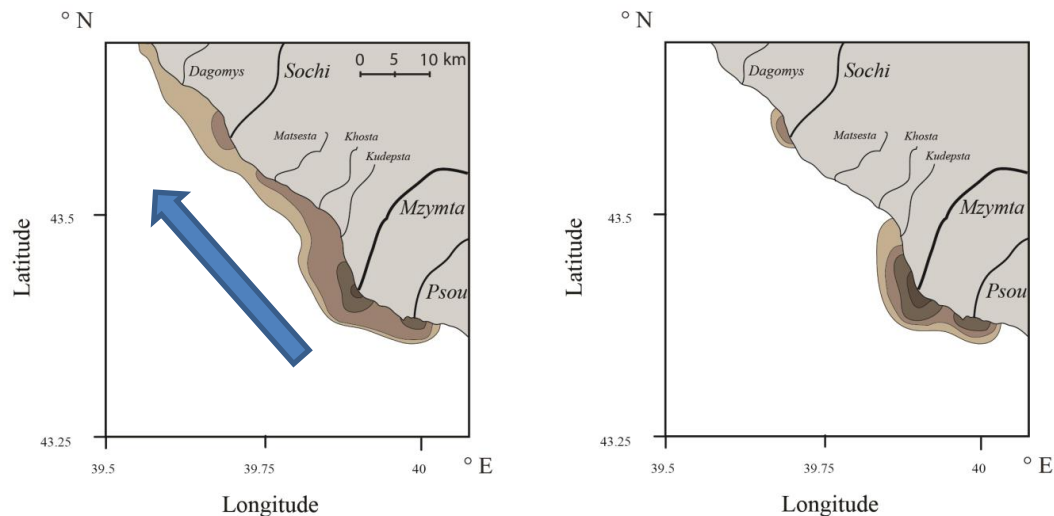
Перенос взвеси при среднеклиматических и паводковых условиях стока



оседание
терригенной
взвеси на дно

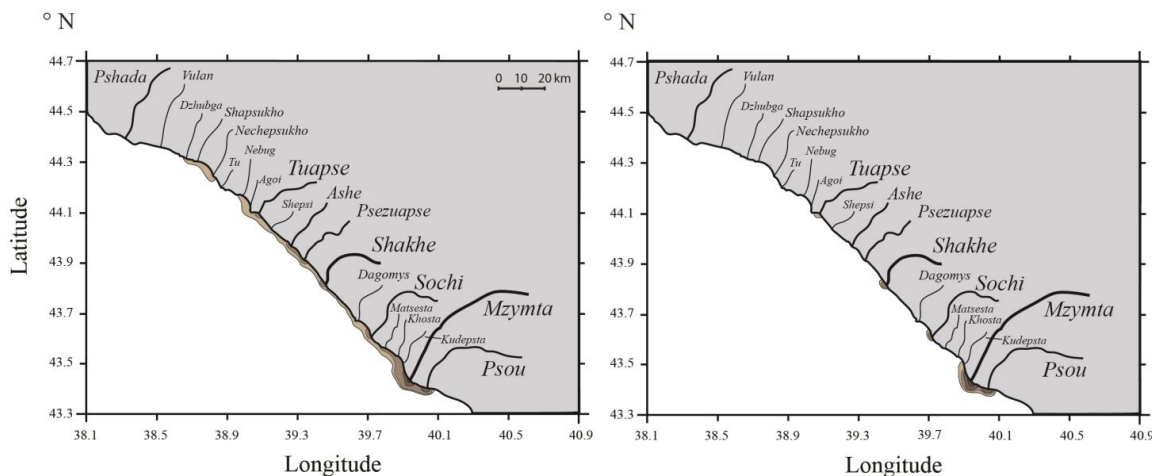
Terrigenous sediment deposit, kg/m²

0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0



Формирование полосы опресненных вод способствует более медленной диссипации речных плюмов, более интенсивному выносу мелкой взвеси в глубокую часть моря, а также осаждению взвеси на протяженных прибрежных участках северо-восточного побережья Черного моря.

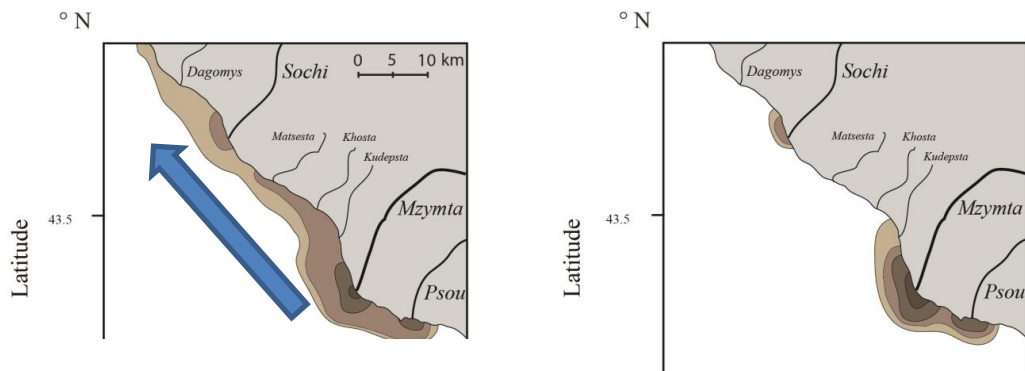
Перенос взвеси при среднеклиматических и паводковых условиях стока



оседание
терригенной
взвеси на дно

Terrigenous sediment deposit, kg/m²

0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0



Более подробно: *Osadchiev and Korshenko*. Small river plumes off the northeastern coast of the Black Sea under average climatic and flooding discharge conditions. *Ocean Science*. 2017.

Выводы

1. Создана и верифицирована модель выноса, распространения, перемешивания и оседания взвешенных и растворенных веществ, поступающих в прибрежную зону северо-восточной части Черного моря с материковым стоком.
2. Рассчитаны среднесуточные значения расхода 20 крупнейших рек северо-восточного побережья Черного моря в начале лета 2011 года.
3. В среднесезонных условиях стока большая часть пресной воды и взвеси выносятся крупными реками данного региона (Мзымта, Псоу, Шахе и Сочи), в то время как вклад более мелких рек незначителен. Речная взвесь осаждается на дно, в основном, на мелководных участках шельфа, примыкающих к устьям крупных рек.
4. Во время дождевых паводков в результате интенсивного стока многочисленных малых рек вдоль побережья формируется полоса опресненных вод. Эта полоса может сохраняться в течение нескольких дней после окончания паводка. Ее формирование способствует осаждению взвеси на протяженных прибрежных участках северо-восточного побережья Черного моря.

Спасибо за
внимание!

