

Изменчивость динамики вод узкой прибрежно-шельфовой зоны Черного моря под влиянием внешних воздействий: результаты исследований на геленджикском полигоне ИОРАН

Зацепин А.Г

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Нахимовский проспект, 36.*

zatsepin@ocean.ru

МНК «Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования (Севастополь, МГИ РАН, 25 апреля 2016).

Использованные в докладе материалы
подготовлены при активном участии
сотрудников:

ИО РАН (Москва): Арашкевич Е.Г., Кременецкого В.В.,
Островского А.Г., Пиотуха В.Б., Сильвестровой К.П.,
Соловьева В.А., Телегина В.А.

ЮО ИО РАН (Геленджик) : Баранова В.И., Дивинского
Б.В., Куклева С.Б., Подымова О.И.

АО ИО РАН (Калининград) : Коржа А.О., Паки В.Т.

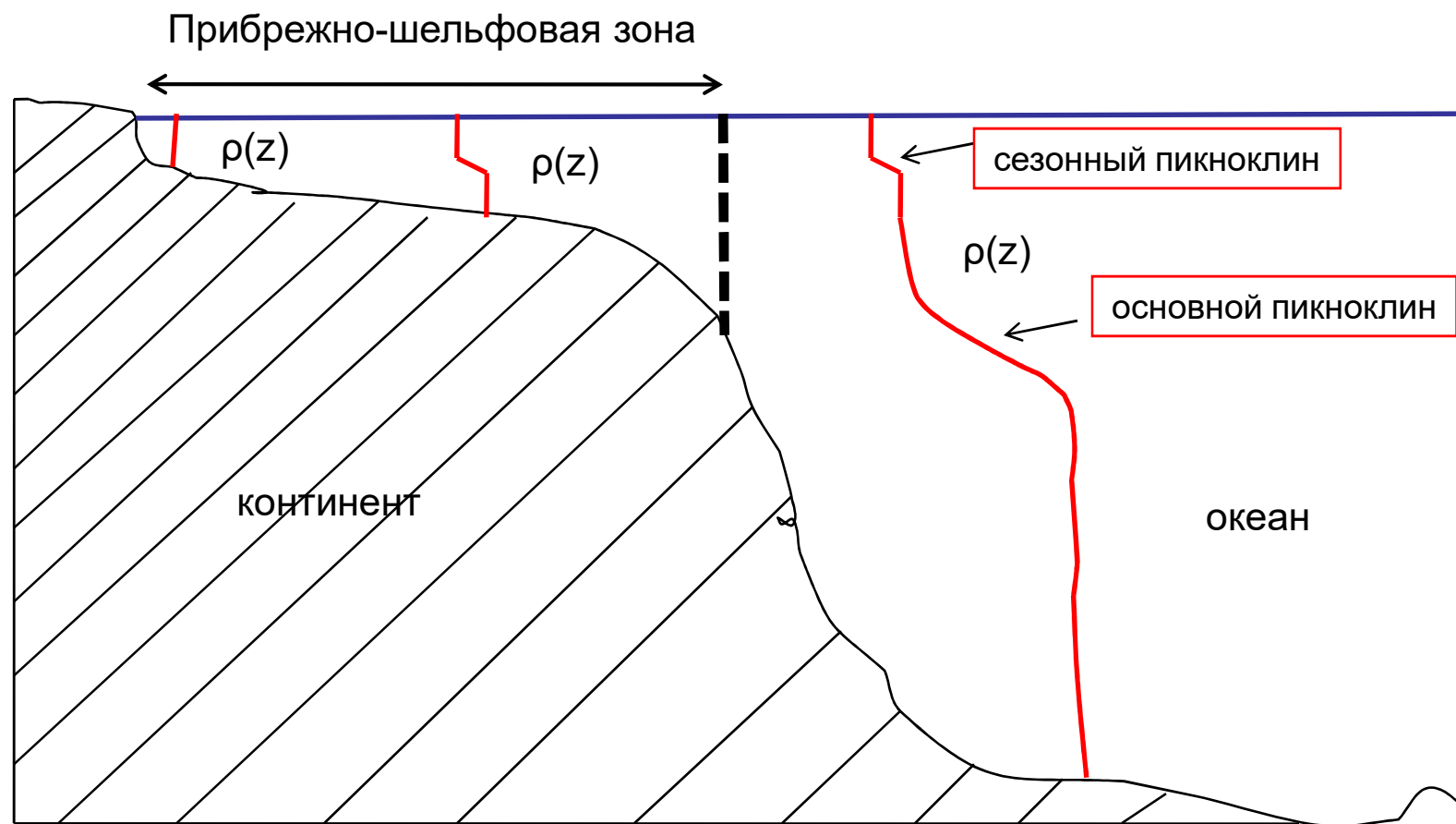
КГНЦ им. А.Н. Крылова (С-Пб): Горбацкого В.В., Дудко Д.,
Шпилева Н.

МГИ (Севастополь): Кубрякова А.А., Мотыжева С.В.,
Соловьева Д.М., Станичной Р.Р., Станичного С.В.

Определение прибрежно-шельфовой зоны моря

Прибрежно-шельфовой зоной моря будем называть область шельфа и верхней части континентального склона, где отсутствует основной, или перманентный пикноклин

Иллюстрация к определению прибрежно-шельфовой зоны



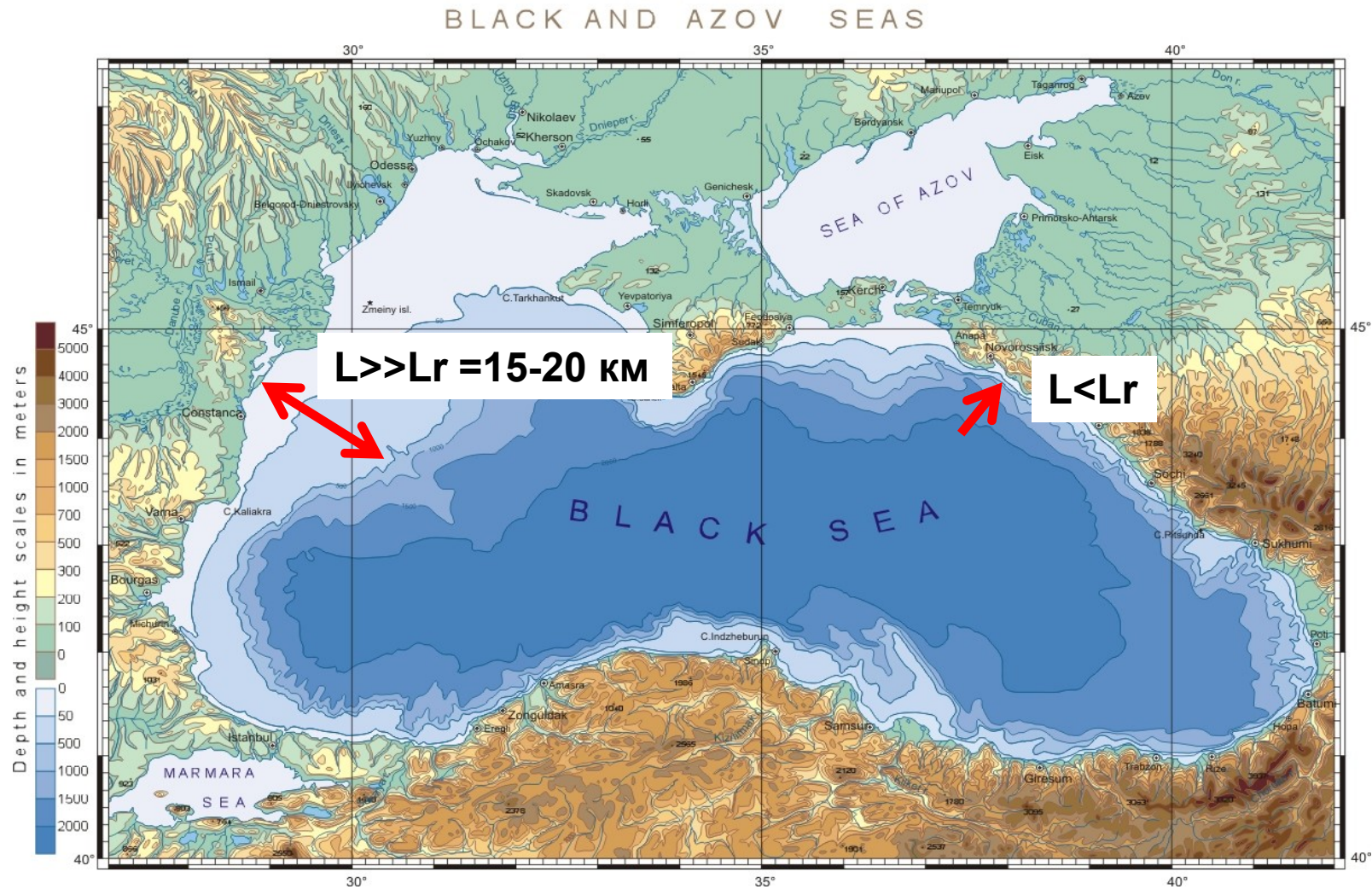
Узкие и широкие прибрежно-шельфовые зоны

Прибрежно-шельфовая зона называется узкой, если ее ширина L не превышает значение бароклинного радиуса деформации Россби $L_r = NH/f$, рассчитанного для глубоководной зоны моря: $L \leq L_r$.

Прибрежная зона называется широкой, если ее ширина L много больше значения бароклинного радиуса деформации Россби $L_r = NH/f$, рассчитанного для глубоководной зоны моря: $L \gg L_r$.

N – частота Вайсяля–Брента, характерная для основного пикноклина, H – толщина верхнего слоя моря, от поверхности до подошвы основного пикноклина, f – локальное значение параметра Кориолиса.

Широкие и узкие прибрежно-шельфовые зоны на Черном море



Внешние факторы, влияющие на динамику прибрежно-шельфовых зон

- Динамика вод в глубоководной (открытой) части моря
- Ветровое воздействие
- Береговой пресноводный сток

В докладе обсуждается гидродинамический отклик узкой прибрежно-шельфовой зоны на внешнее воздействие. Натурные наблюдения проводились на полигоне ИОРАН в Геленджикском районе Черного моря. Обнаруженные закономерности проверялись и уточнялись методом лабораторного моделирования

Задачи, решаемые на черноморском полигоне ИОРАН

1. Долговременные исследования и мониторинг шельфово-склоновой зоны моря на основе использования данных измерений вертикальных распределений ключевых параметров морской среды получаемых с помощью заякоренных автономных станций и регулярных комплексных судовых экспедиций (выходов).
2. Испытание и внедрение в практику исследований новых методов и приборов для автоматического измерения различных параметров морской среды.

Черноморский полигон ИОРАН создан в северо-восточной части Черного моря, в районе Геленджика на базе Южного отделения ИОРАН в 2010-2013 гг.

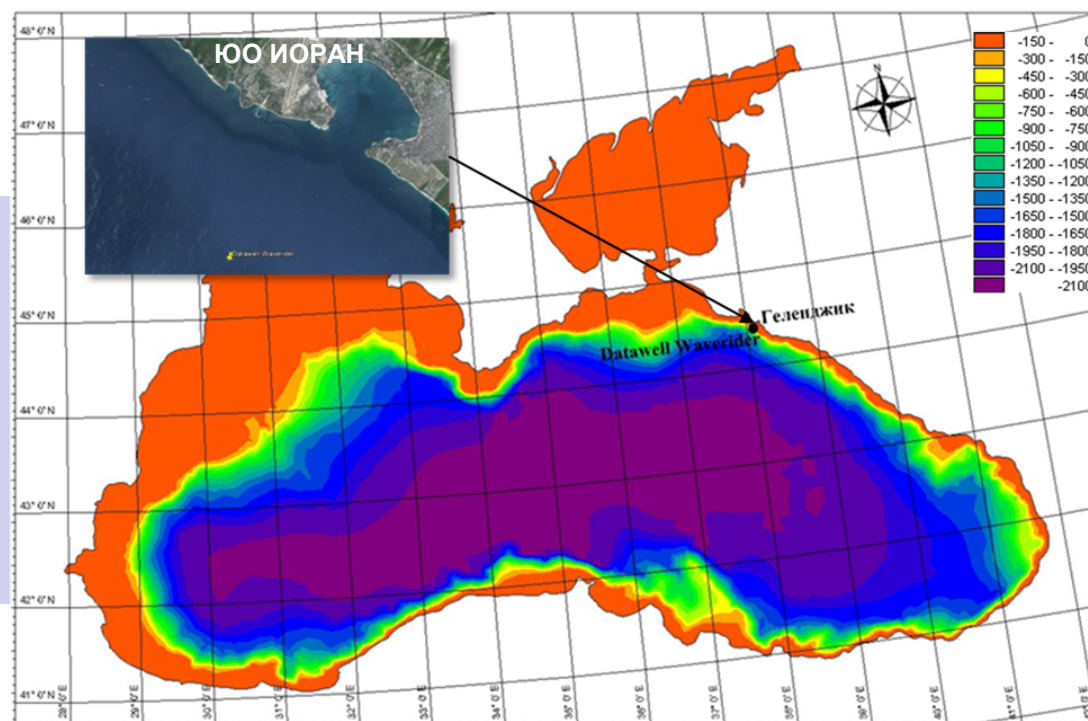


Схема черноморского полигона ИО РАН

Черный треугольник – метеостанции.

Черные звездочки – станции в составе донного ADCP и заякоренной термокосы;

Синяя звездочка – утраченная станция

Черный круг – зонд-профилограф «Аквалог» на заякоренной буйковой станции.

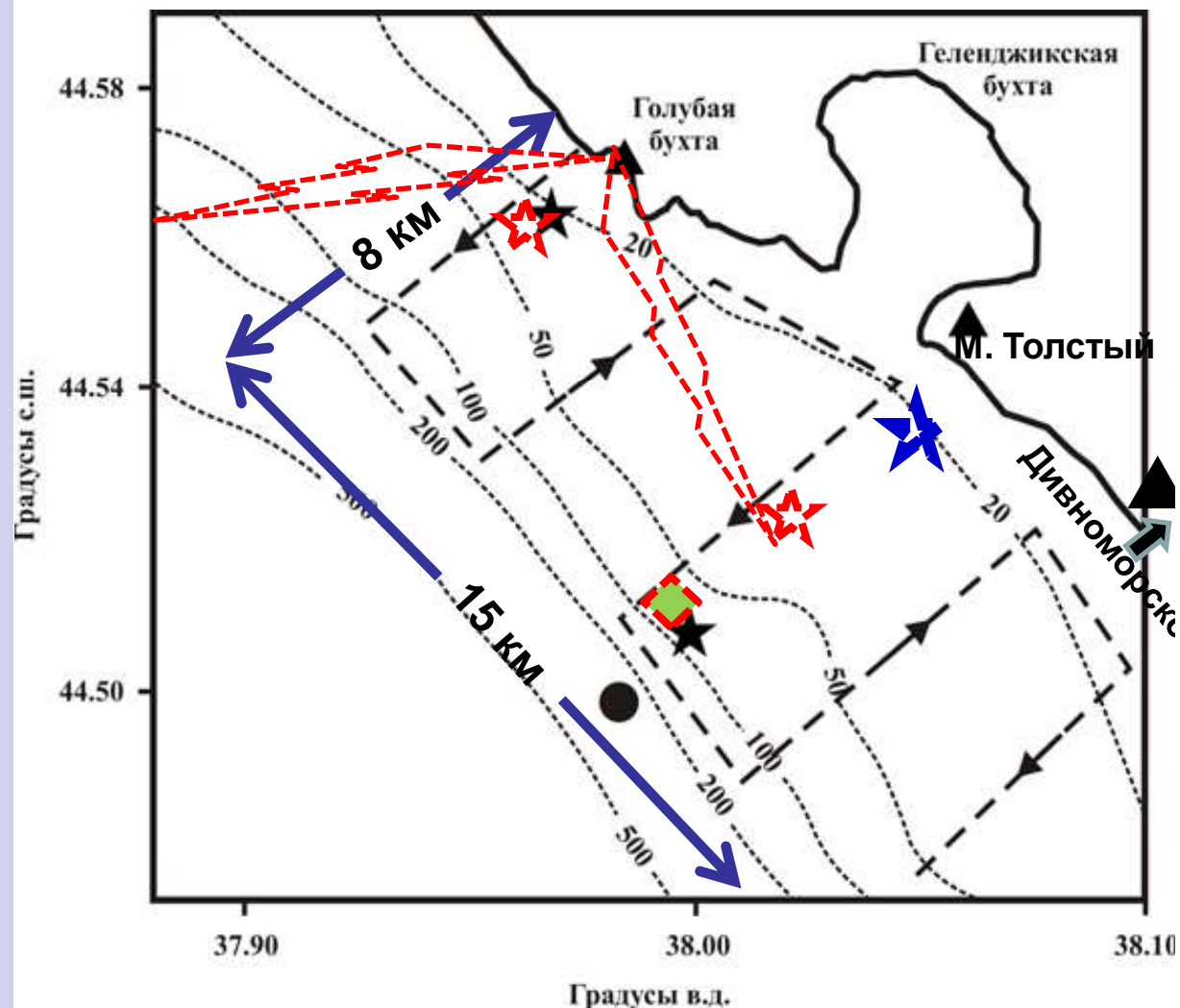
Красные звездочки – станции, планируемые к постановке в 2016 г.

Красный треугольник – автоматич. метеостанция в Дивноморском

Красные молнии – доплеровский КВ радар для измерения поверхностных течений на акватории полигона

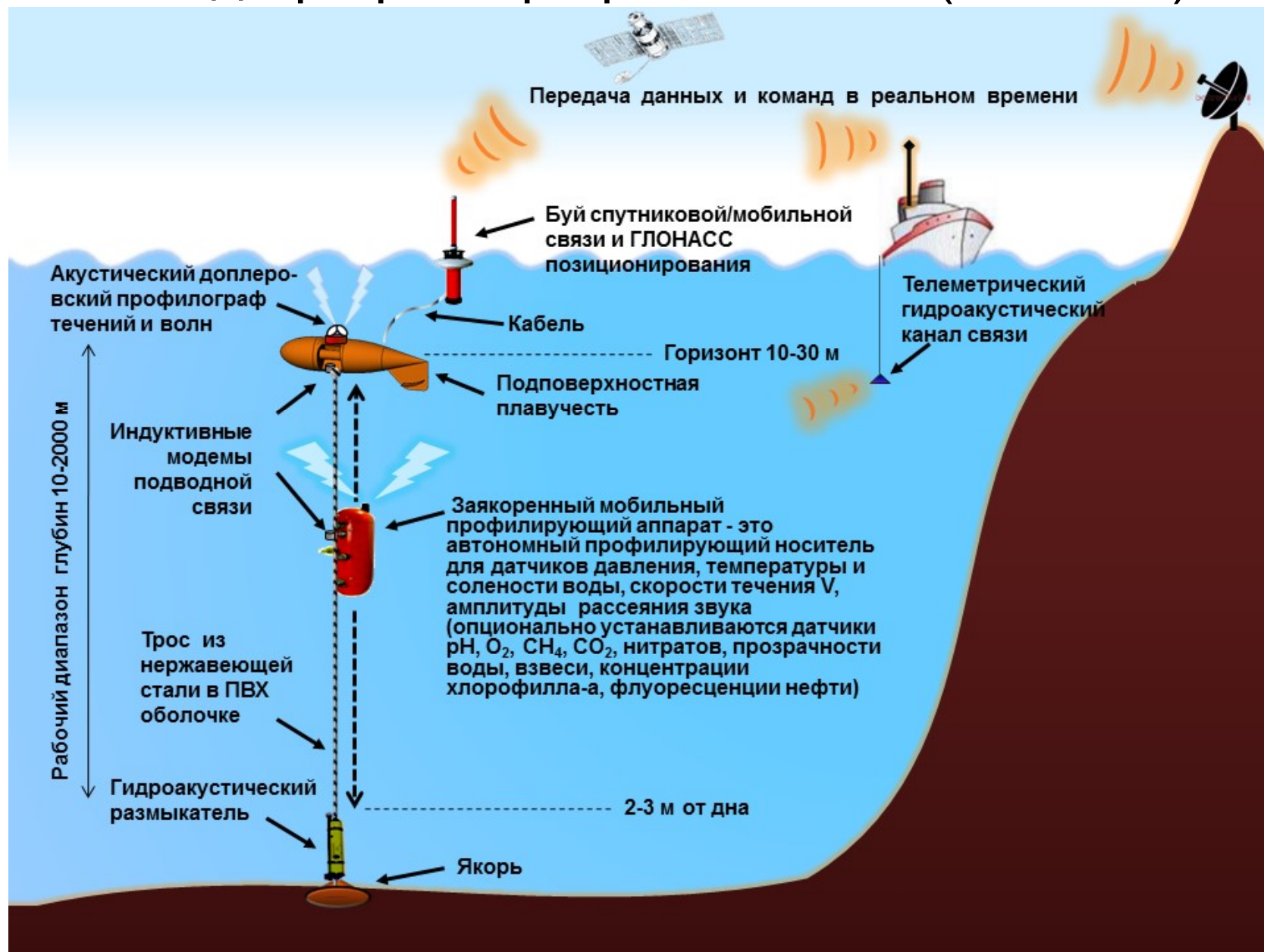
Красный ромб – возможное место постановки стабилизированного буя

Пунктирная линия со стрелками – галсы судна при проведении измерений скорости течения буксируемым за судном ADCP.



Автономные станции, размещаемые на полигоне.

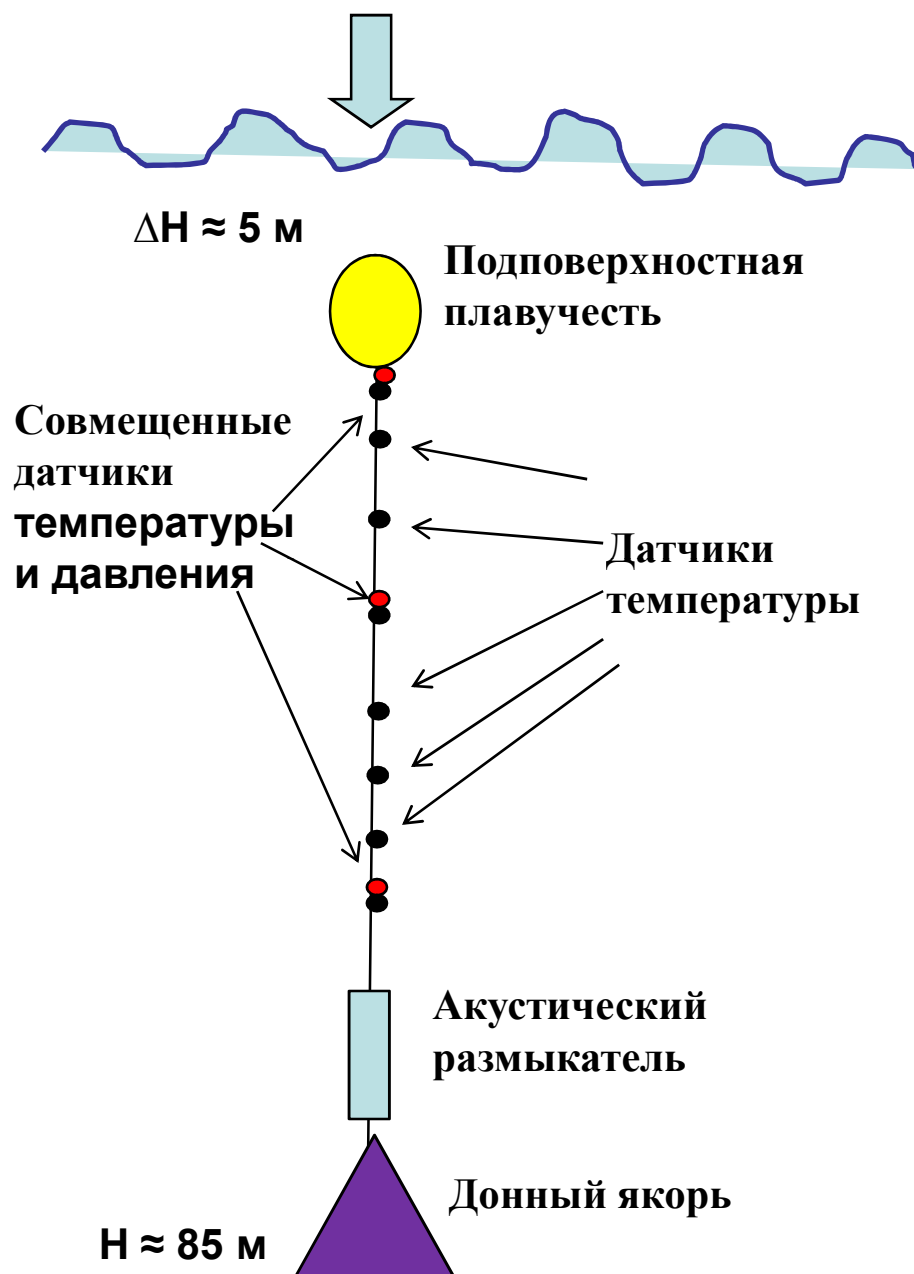
1. Зонд-профилограф «Аквалог» (ИО РАН)



Донная станция ADCP + Заякоренная термокоста



Акустический доплеровский профилограф скорости течения (ADCP) в пластиковой пирамиде

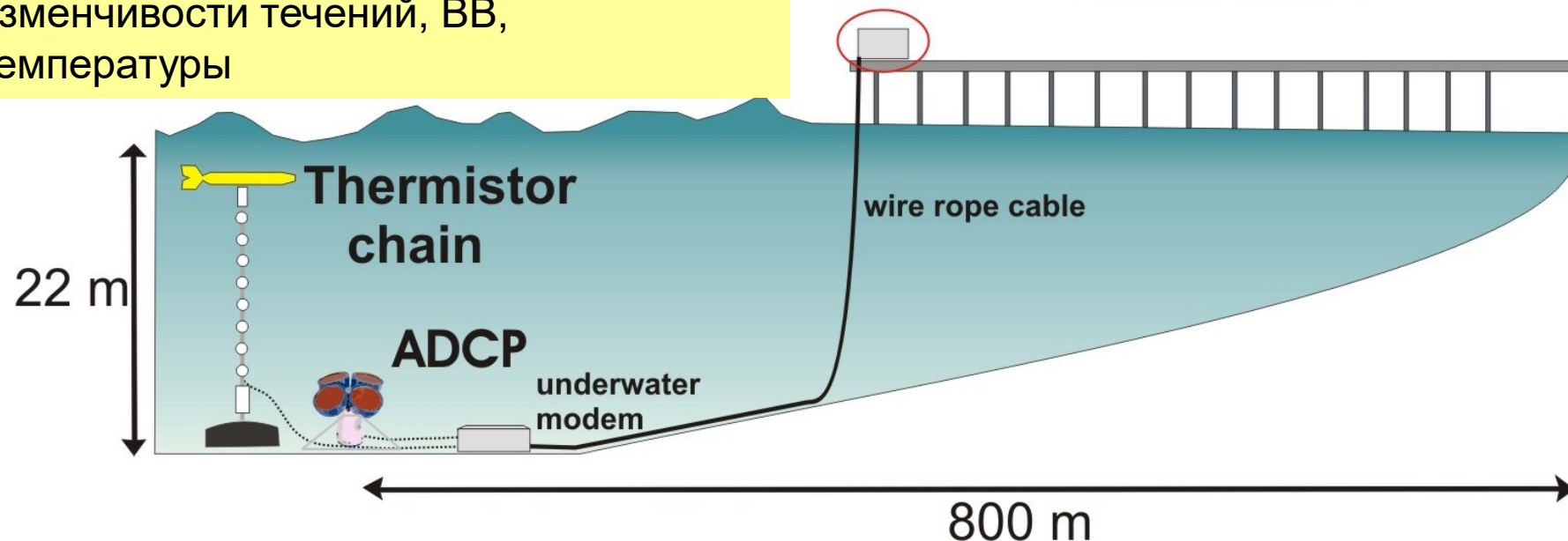
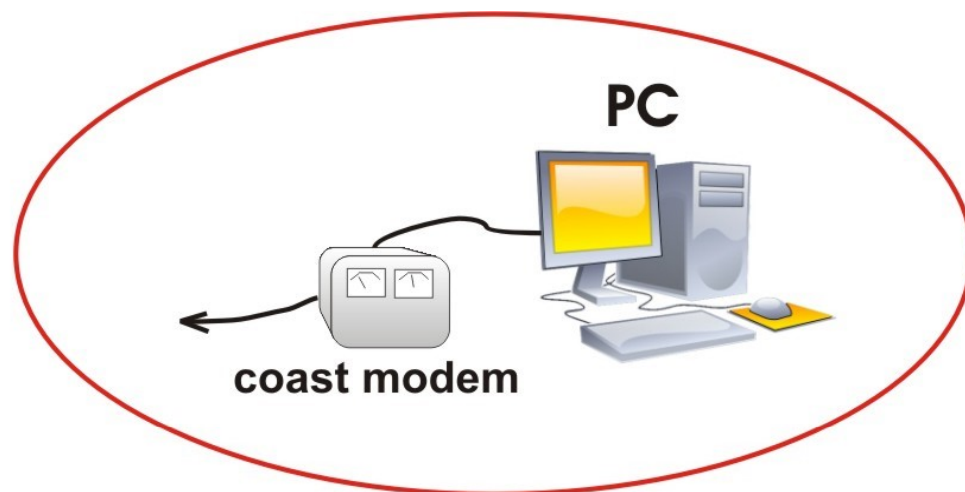


Оперативная передача данных донного ADCP и заякоренной термокосы в береговой пункт приема

Оперативное измерение
поверхностного волнения, профилей
скорости течения, акустического
рассеяния (ВВ) и температуры.

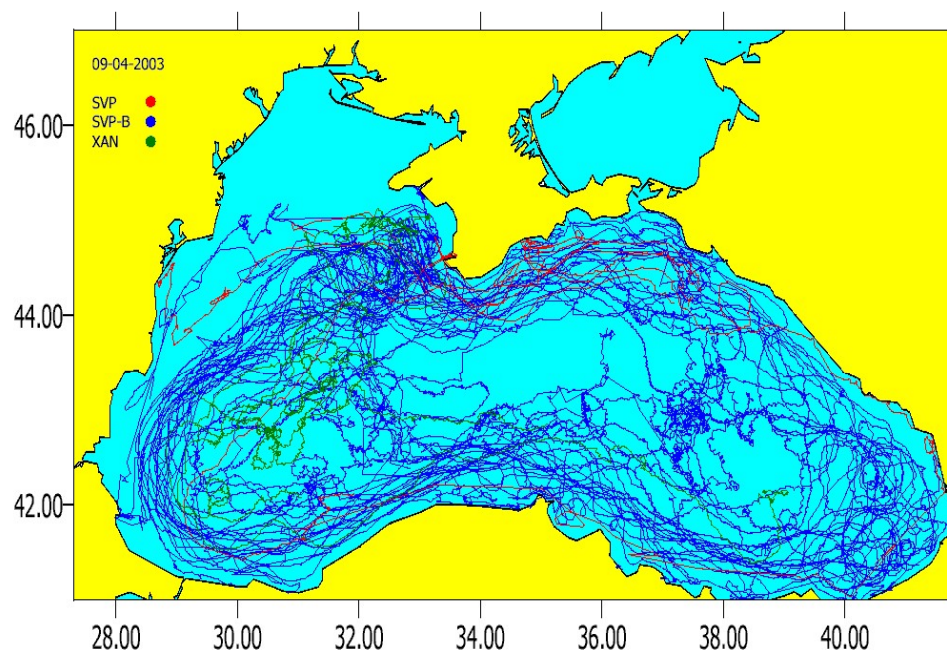
Вертикальное разрешение - 0.5-0.8 м,
частота регистрации - 2 раза в минуту.

Возможность исследования широкого
круга процессов: от короткопериодных
внутренних волн до межгодовой
изменчивости течений, ВВ,
температуры



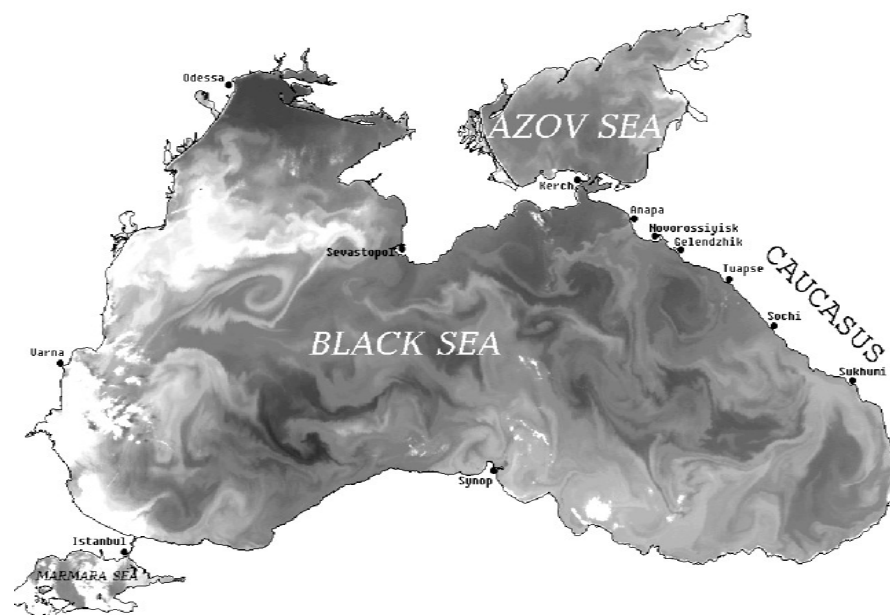
Гидродинамический отклик
прибрежно-шельфовой зоны на
динамику вод глубоководной
(открытой) части моря

Бассейновая циркуляция и мезомасштабная динамика вод Черного моря



Международный дрифтерный эксперимент в Черном море (1999-2003, запущено более 50 дрифтеров)

Журбас, Зацепин и др., 2004; Poulain, Barbatini, Motyzhev, Zatsepin, 2005



Мезомасштабная вихревая динамика вод в Черном море.

Zatsepin, Ginzburg, Kostianoy, Krevenetskiy, Stanichny, 2003

Короткопериодные (5-15 суток) вертикальные колебания верхней границы сероводородной зоны и их связь с динамикой вод

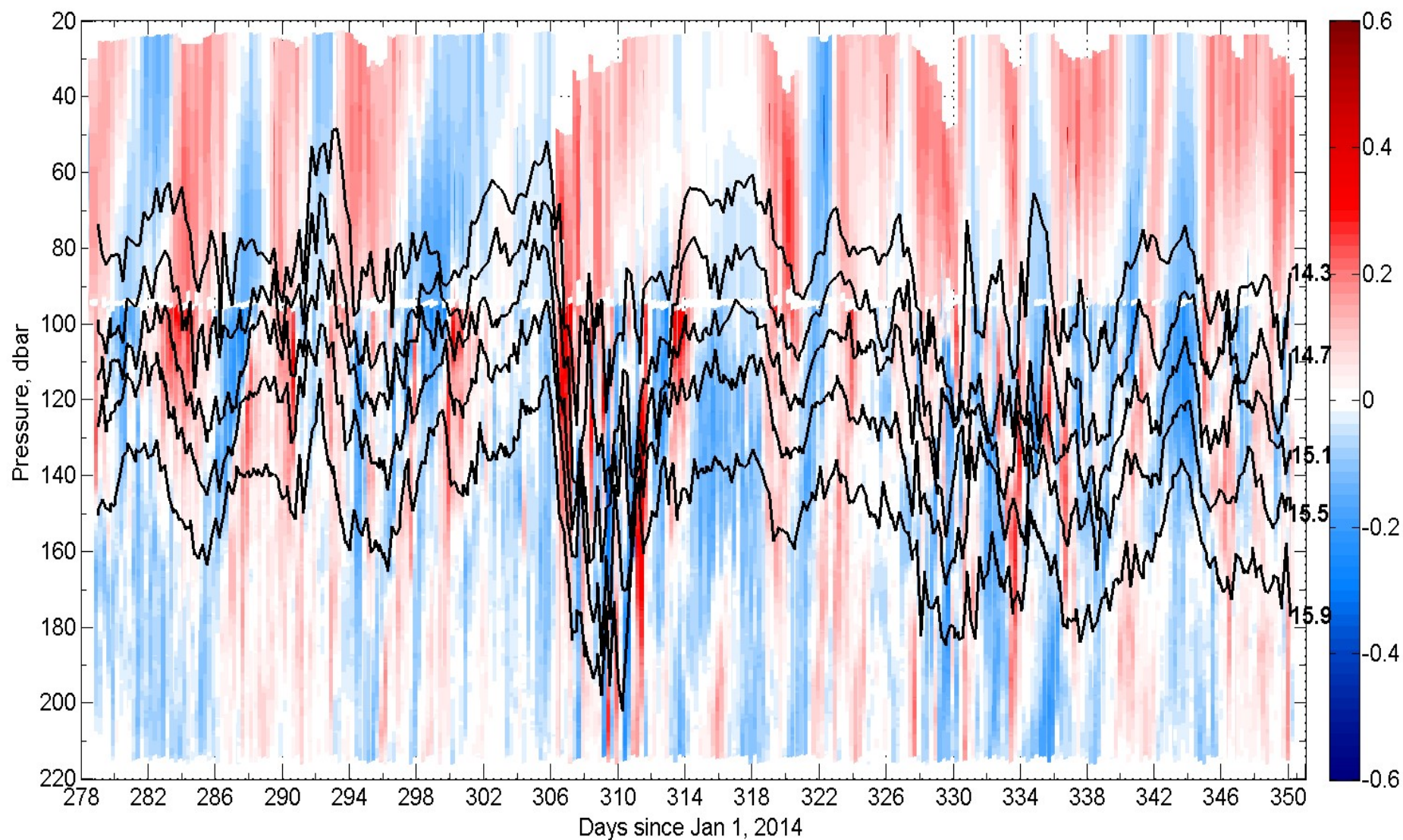
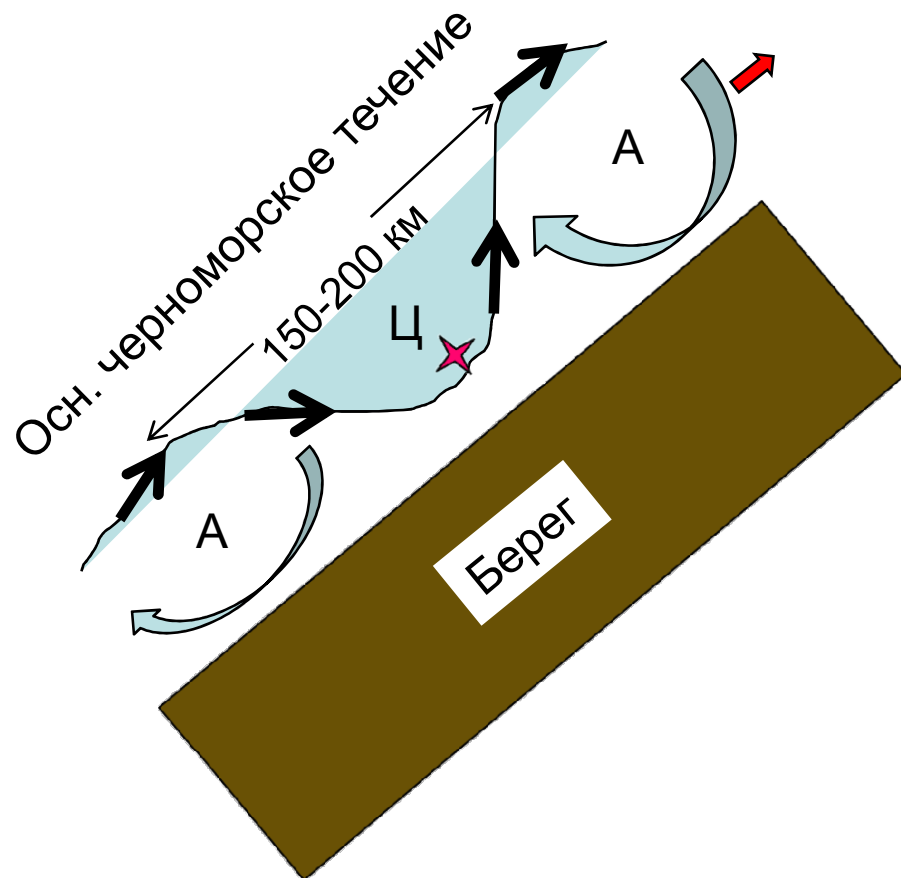
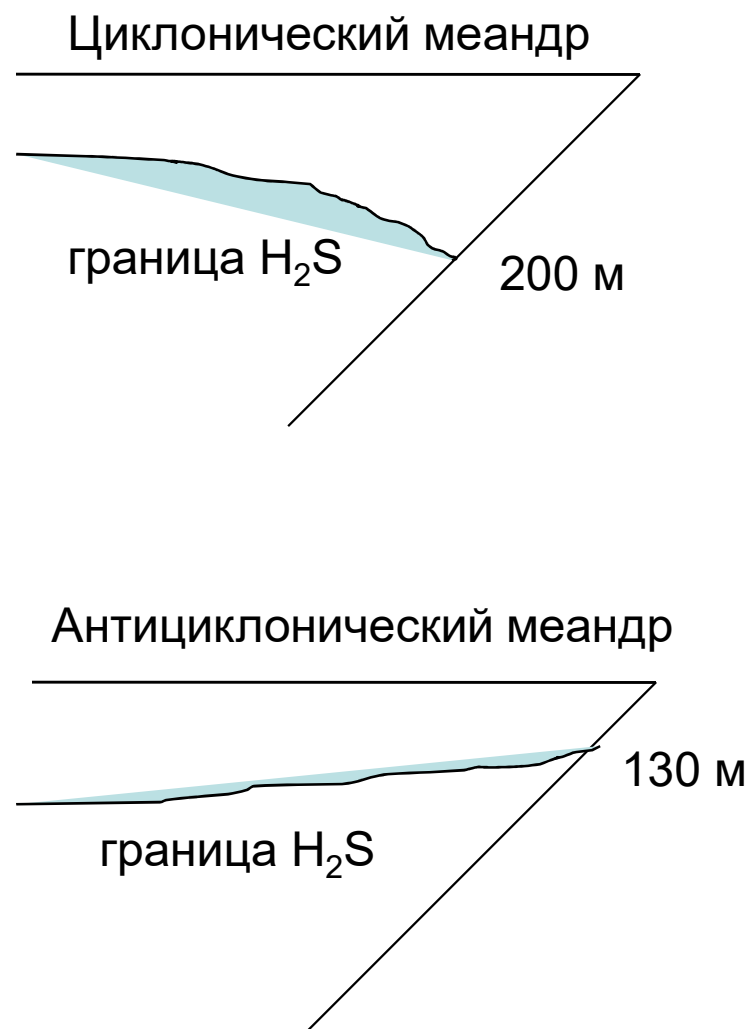


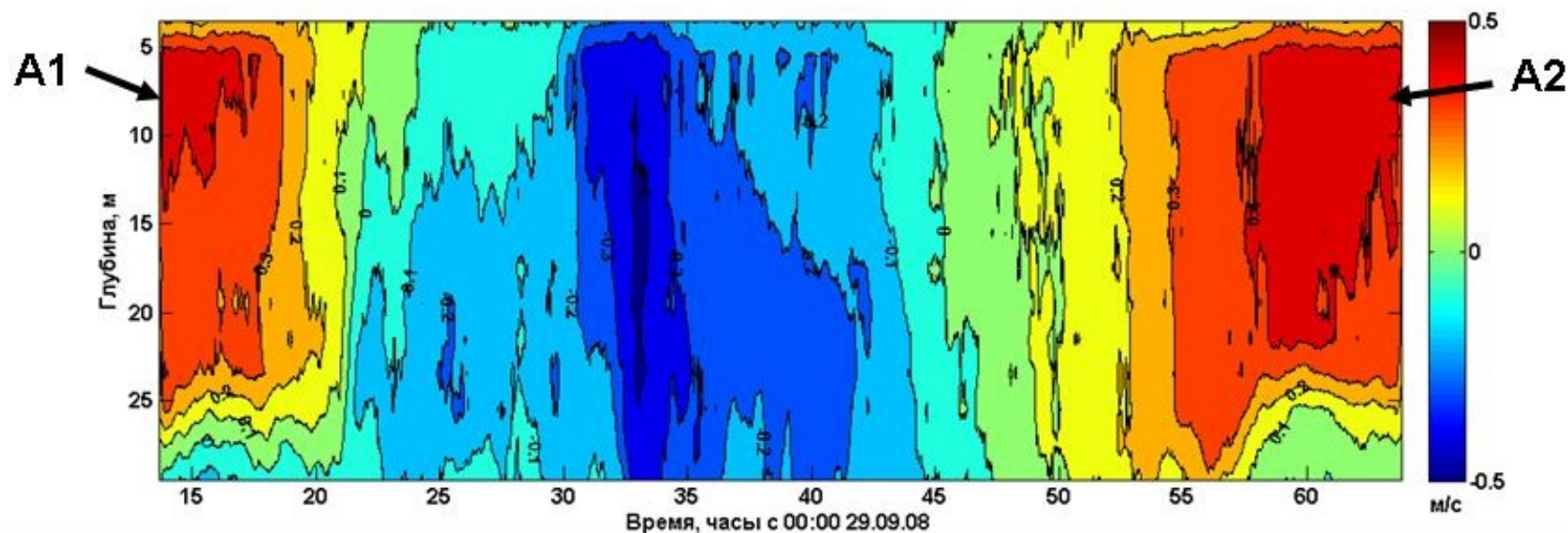
Схема меандрирования ОЧТ и формирования 5-15 суточных колебаний в точке наблюдения



✱ - заякоренная станция «Аквалог»

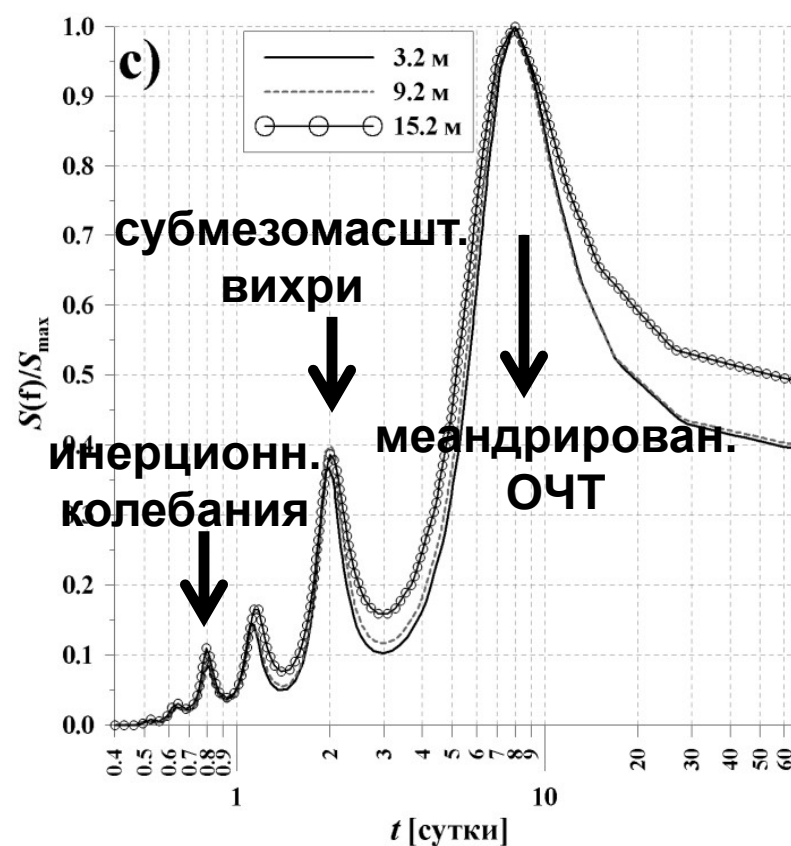
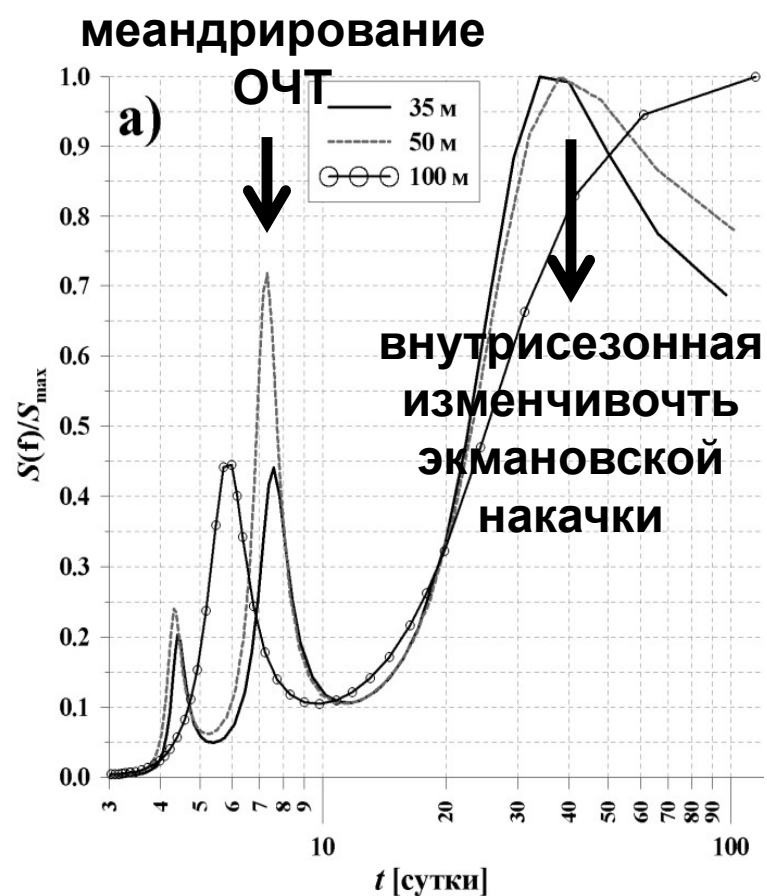


Собственная мода динамики вод шельфа: смена направления вдольберегового течения с периодом 1-3 суток



Скорость вдольберегового течения по данным донной станции ADCP, установленной на глубине 32 м на траверзе Голубой бухты (29 сентября – 01 октября 2008). Рисунок показывает изменение направления вдольберегового течения с периодом порядка 2-х суток, связанное с шельфовыми субмезомасштабными вихрями

Спектры колебаний энергии течений: **а)** - в верхней части континентального склона (270 м) по данным зонда-профилографа «Аквалог»; **с)** – донной станции ADCP (22 м). Годичные ряды данных.



Исследование пространственной структуры поля течений на шельфе с помощью буксируемого за судном (МНИС «Ашамба» ADCP в гондоле обтекаемой формы



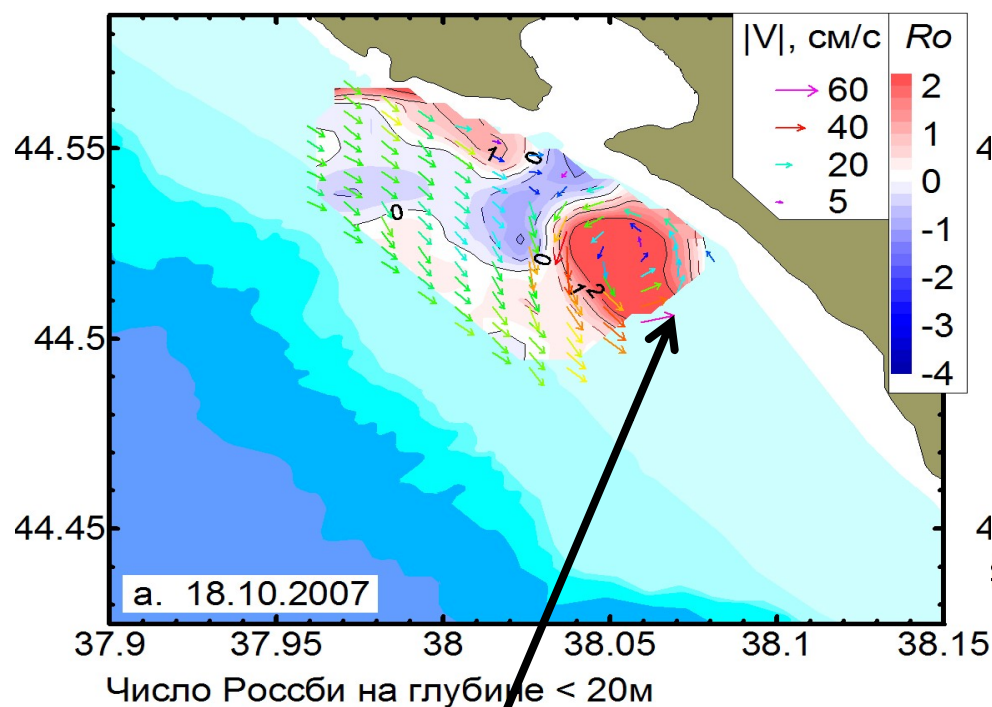
МНИС «Ашамба» (27 т. в., 6-8 научных сотрудников, стрела, кормовая П – рама, две лебедки, одна - кабельтросовая)

Пространственная съемка поля скорости течения на шельфе буксируемым за судном ADCP на перпендикулярных берегу разрезах с шагом порядка 2 км



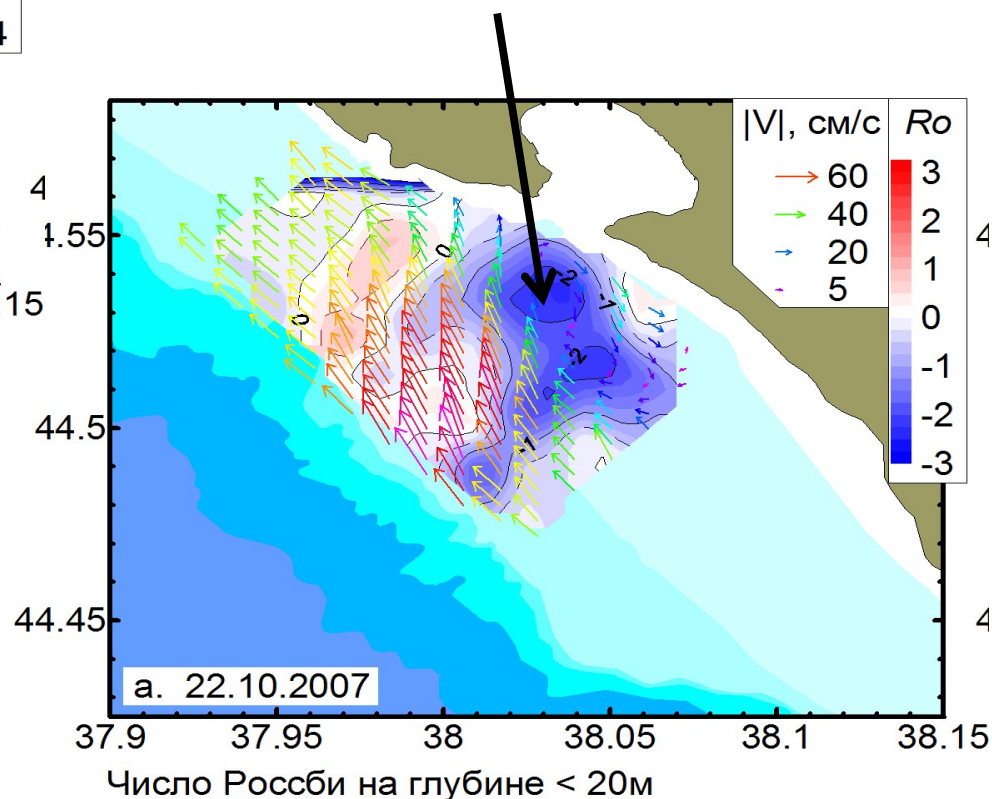
Акустический доплеровский профилограф скорости течения ADCP RDI 300 кГц в гондоле перед началом буксировки на корме «Ашамбы» (слева) и в момент буксировки (справа).

Пространственное распределения скорости течения и числа Россби $Ro = \omega/f$ в верхнем перемешанном слое $H = 20$ м по данным буксировок ADCP



18 октября 2007 г.
Юго-восточное течение за бровкой шельфа, циклонический шельфовый вихрь с $Ro > 2$

22 октября 2007 г.
Северо-западное течение за бровкой шельфа, антициклонический шельфовый вихрь с $Ro \approx 2$



Статистика наблюдения субмезомасштабных вихрей на геленджикском полигоне ИО РАН

В период 2007-2013 гг. в летне-осенний сезон была сделана 21 ADCP-съемка поля скорости на акватории полигона. В 16 съемках были обнаружены субмезомасштабные вихри (15 циклонов и 16 антициклонов) в 5 съемках – нет. Вихри, как правило, наблюдались только в верхнем квазиоднородном слое (ВКС), а в термоклине затухали.

Характерный диаметр вихря, эксцентриситет и число Россби:

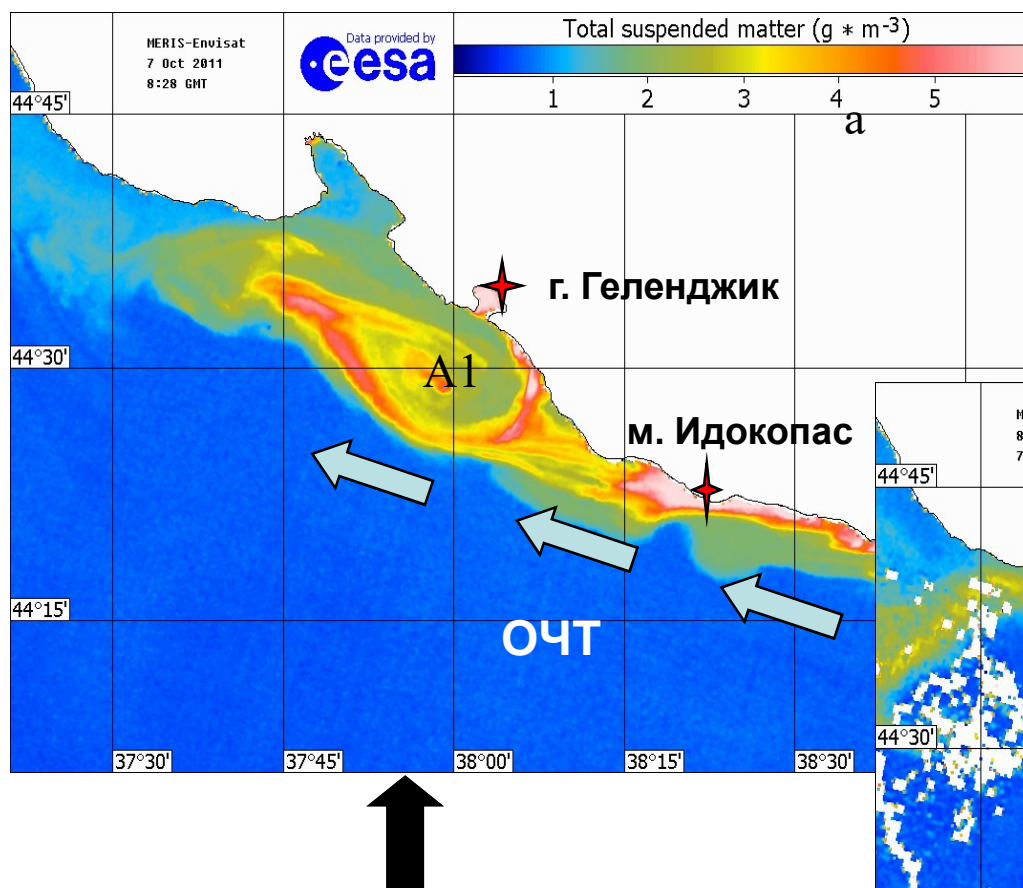
циклоны – $D = 2-4$ км; $\varepsilon = 0.75$; $Ro = 1.4$

антициклоны – $D = 3-6$ км; $\varepsilon = 0.80$; $Ro = 0.8$

Характерная орбитальная скорость – 20-50 см/с

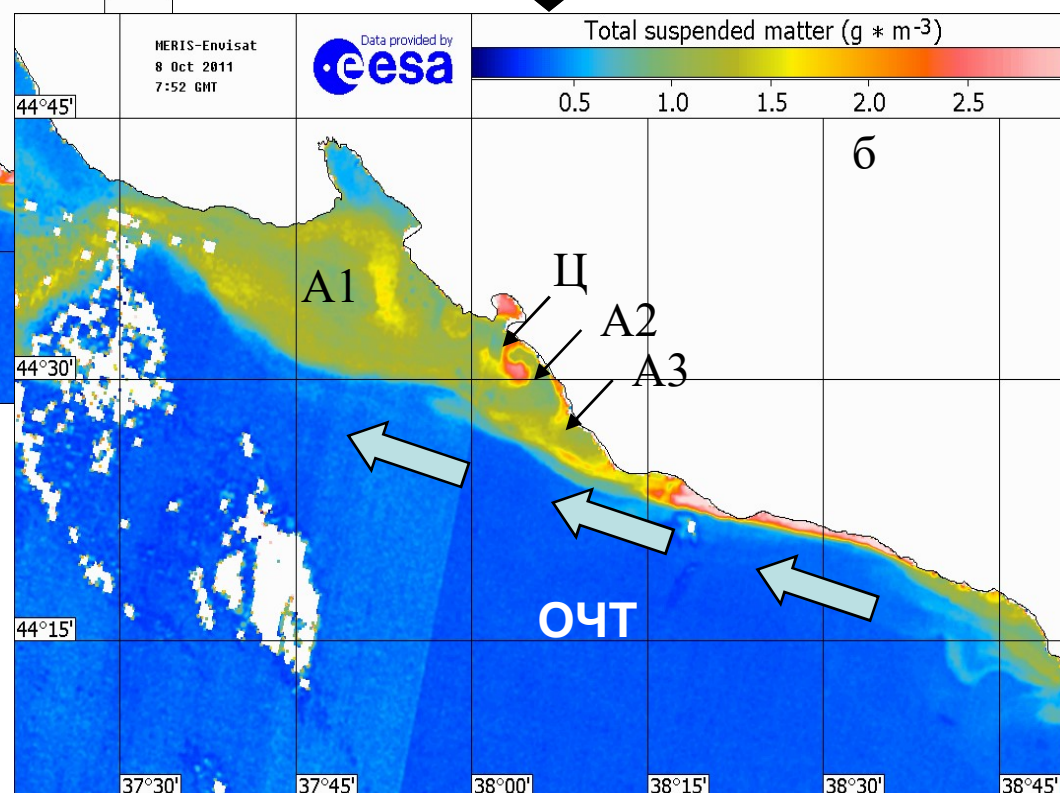
Максимальная зарегистрированная продолжительность существования вихря – 4 суток (антициклон)

Порождение субмезомасштабных антициклонов вследствие отрыва Основного черноморского течения от м. Идокопас и (MERIS-Envisat, 07-08.10.11)



а) субмезомасштабный антициклон А1 за Идокопасом (MERIS-Envisat, взвесь, 07:52 07.10.11)

б) субмезомасштабные антициклоны А1 и А2 за Идокопасом и циклон Ц (MERIS-Envisat, взвесь, 08:28 08.10.11)



Образование цепочки субмезомасштабных циклонов (СЦ) за счет сдвиговой неустойчивости течения на периферии мезомасштабного антициклона (А) 08.08.2010

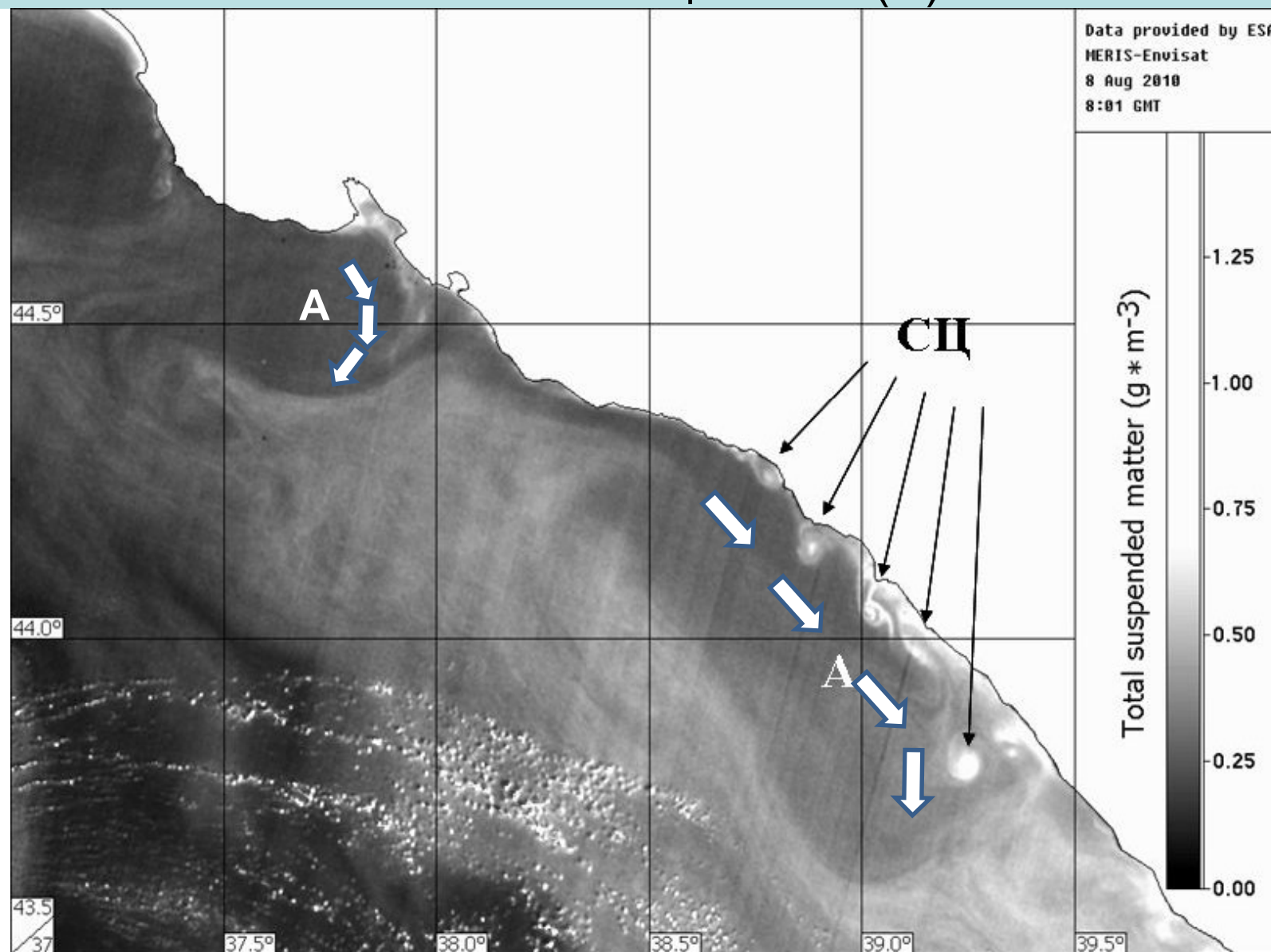
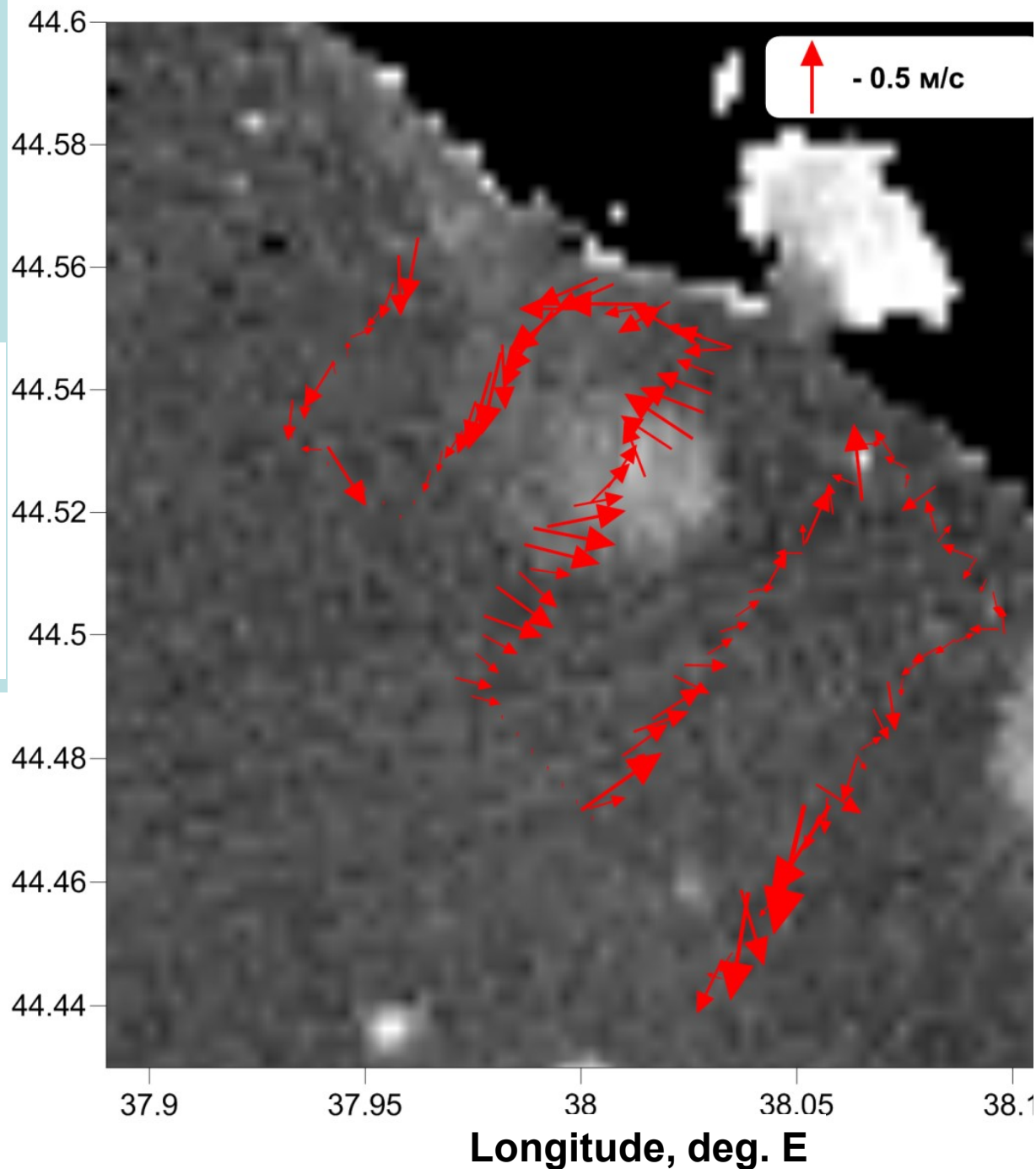


Схема вихревой циркуляции вод на спутниковом изображении Modis-Terra. “А” and “С” – мезомасштабные антициклоны и циклон в глубоководной зоне моря (25.09 2012).



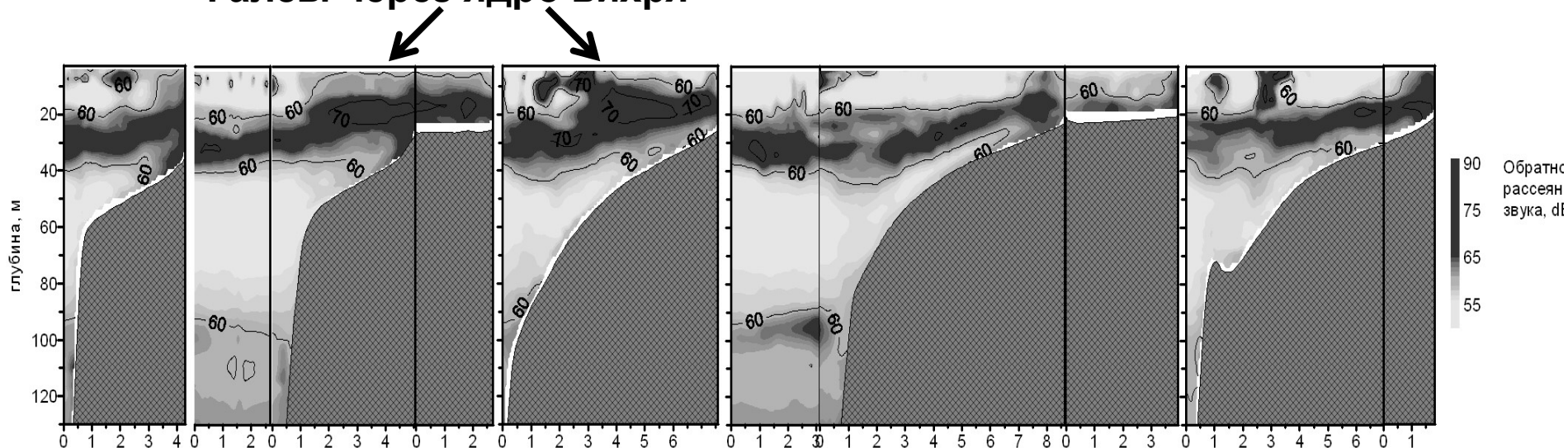
Результаты съемки
поля горизонтальной
скорости течения
буксируемым ADCP в
области
субмезомасштабного
циклона,
первоначально
обнаруженного на
спутниковом снимке
в полях BV и Chl_a

Latitude, deg. N



Сигнал обратного акустического рассеяния (ВВ) на галсах судна через циклонический шельфовый вихрь: подъем вод (апвеллинг) в ядре вихря

Галсы через ядро вихря



Вертикальный профиль распределения хлорофилла-а по данным анализа проб воды

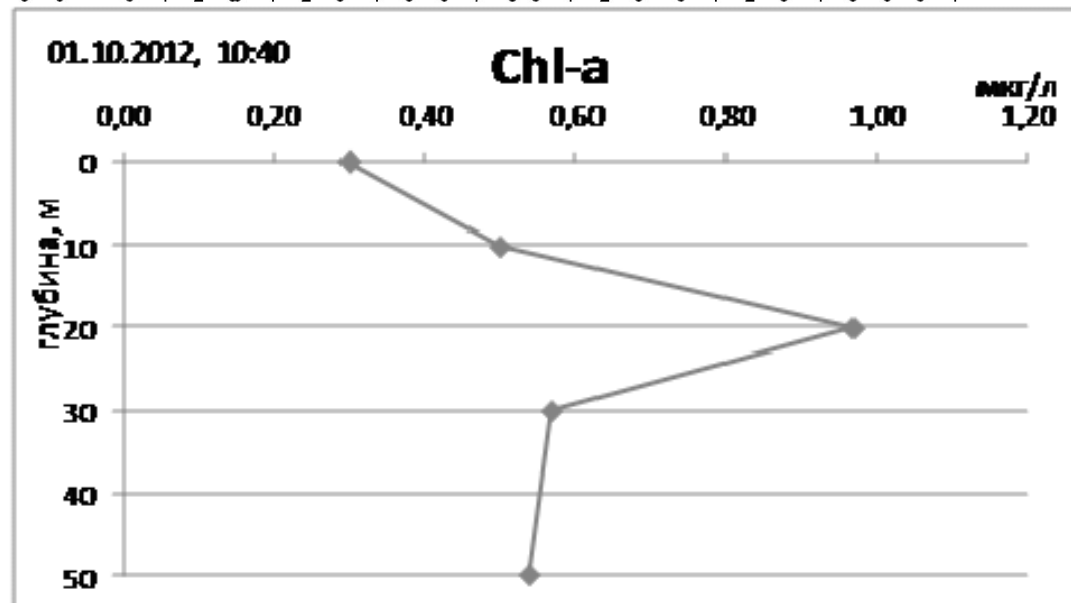
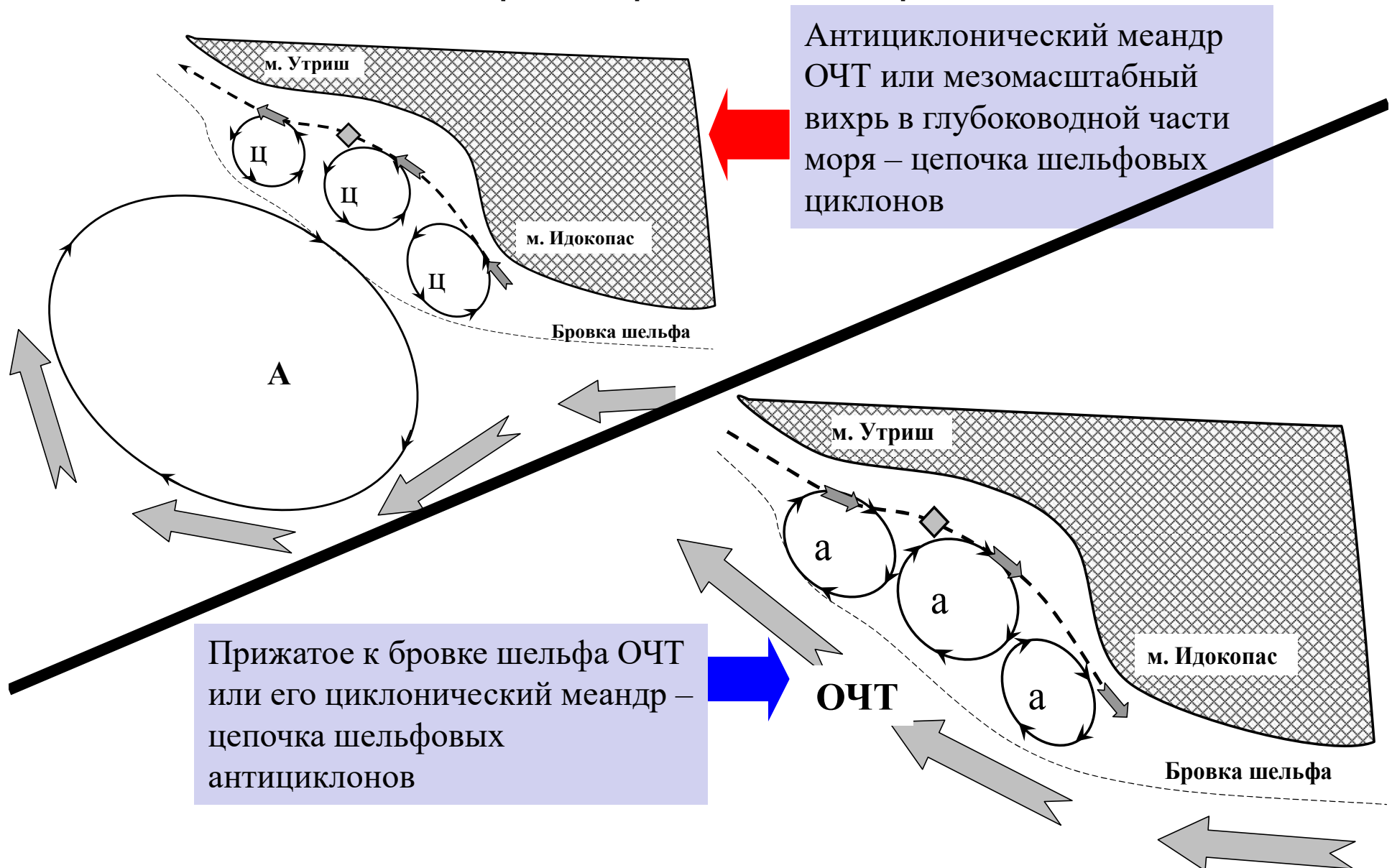
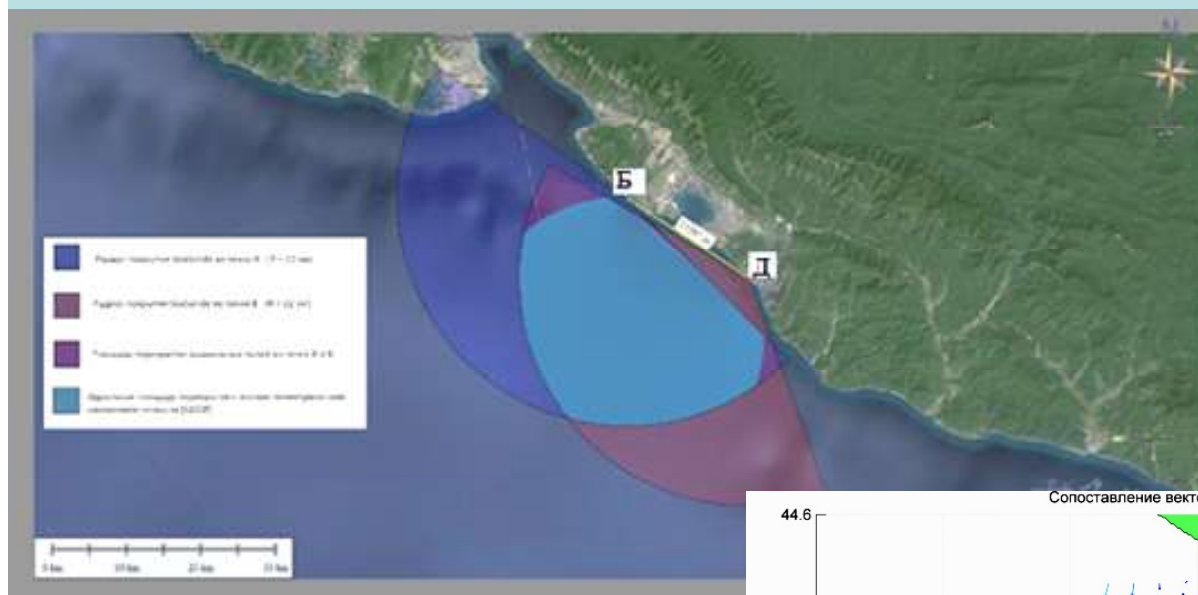


Схема формирования цепочек циклонических и антициклонических субмезомасштабных вихрей на узком черноморском шельфе

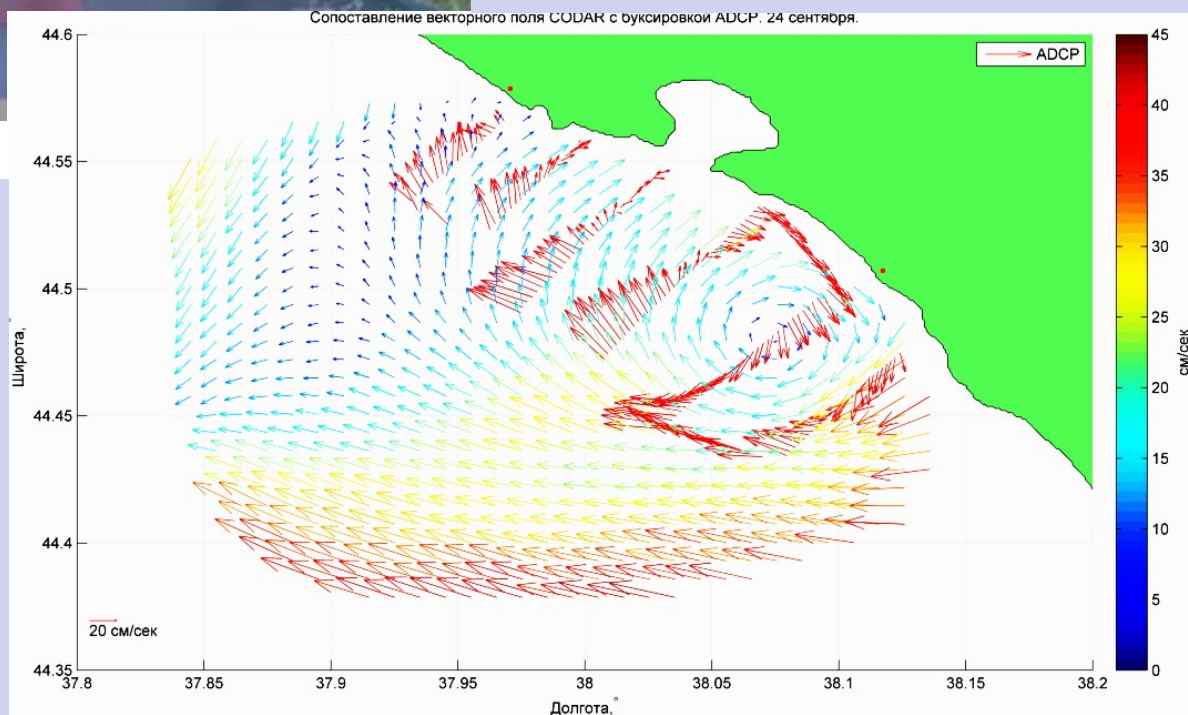


Результаты исследования поля скорости морских течений в 2015 г. с использованием «двухточечных» измерений доплеровским КВ радара Sea Sonde (КГНЦ) и буксируемым за судном ADCP

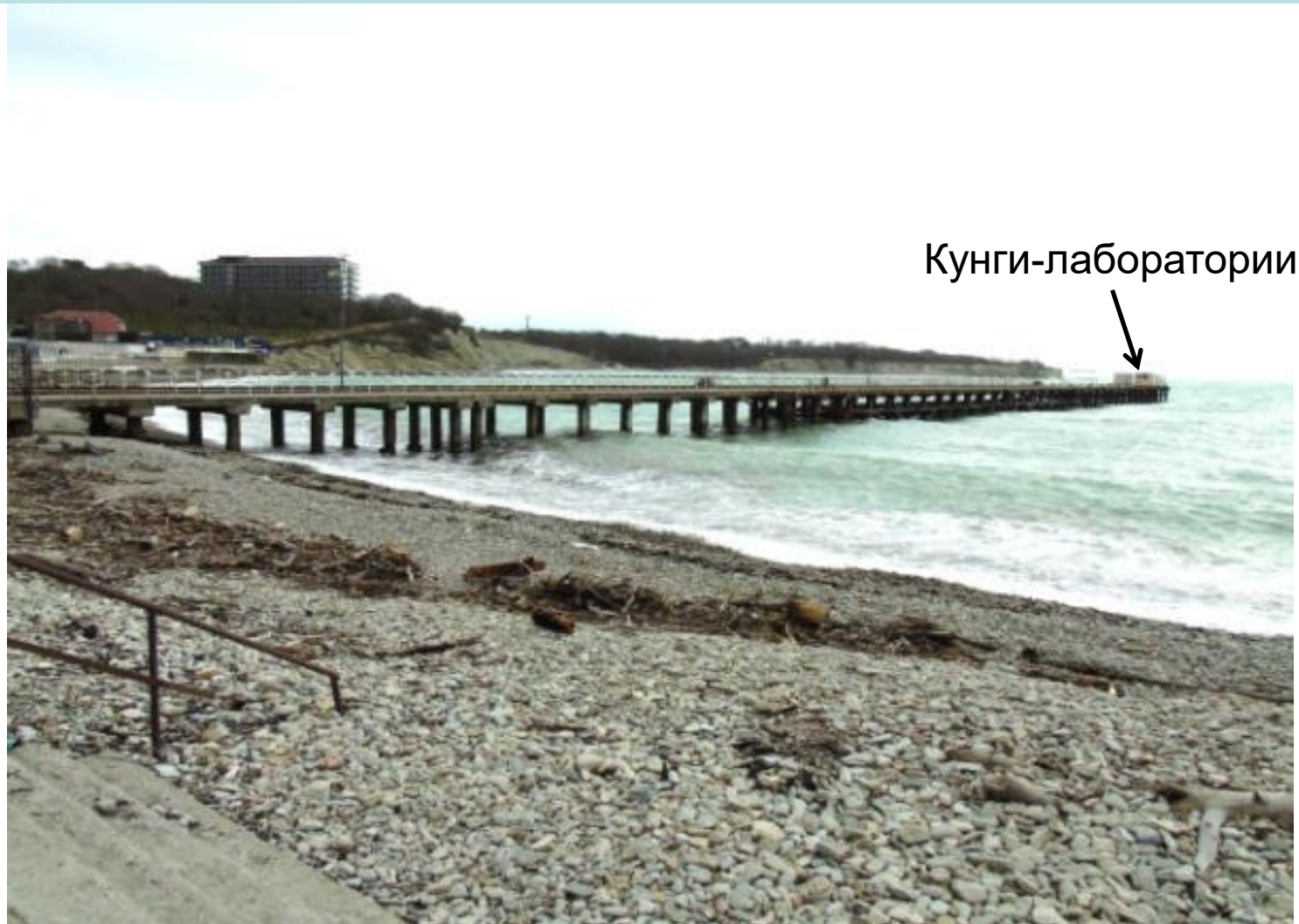


Расположение точек установки радарных антенн на побережье (верхняя территория ЮО ИОРАН и пансионат «Витязь» в Дивноморском). Акватории, покрываемые радарными измерениями. Голубым цветом отмечена область перекрестного измерения.

Сопоставление карты поверхностных течений по данным измерений радара Sea Sonde с данными буксировочных измерений ADCP 24 сентября 2015. В правой верхней части рисунка, как по радарным данным, так и по буксировочным, хорошо виден субмезомасштабный антициклонический вихрь.



Причал ЮО ИОРАН длиной 200 м в Голубой бухте - место установки КВ радара Sea Sonde (CODAR) в 2016г.



Глубина моря в конце причала составляет 5-6 м. На причале расположены кунги-лаборатории, к которым подведено электропитание.

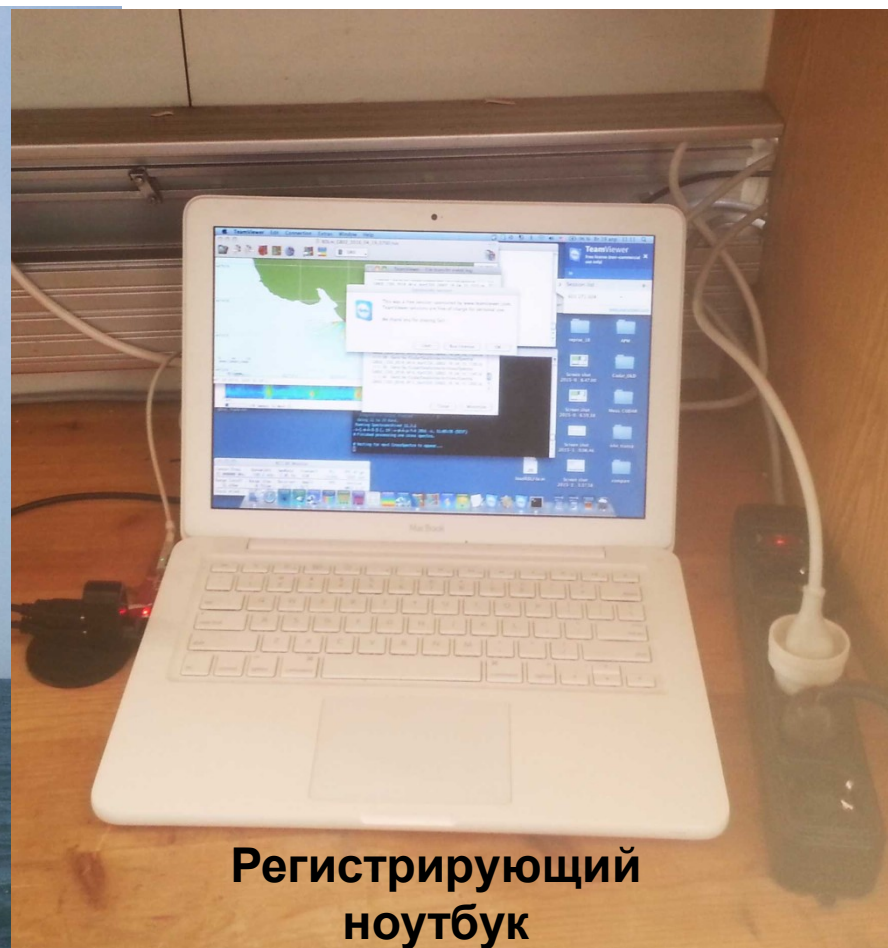
Фотографии антенн доплеровского радара Sea Sonde (CODAR) и кунга с радаром и регистрирующей аппаратурой на пирсе ЮО ИОРАН в Голубой бухте (начало долговременных радарных измерений – 8 апреля 2016 г.)



Передающая антенна

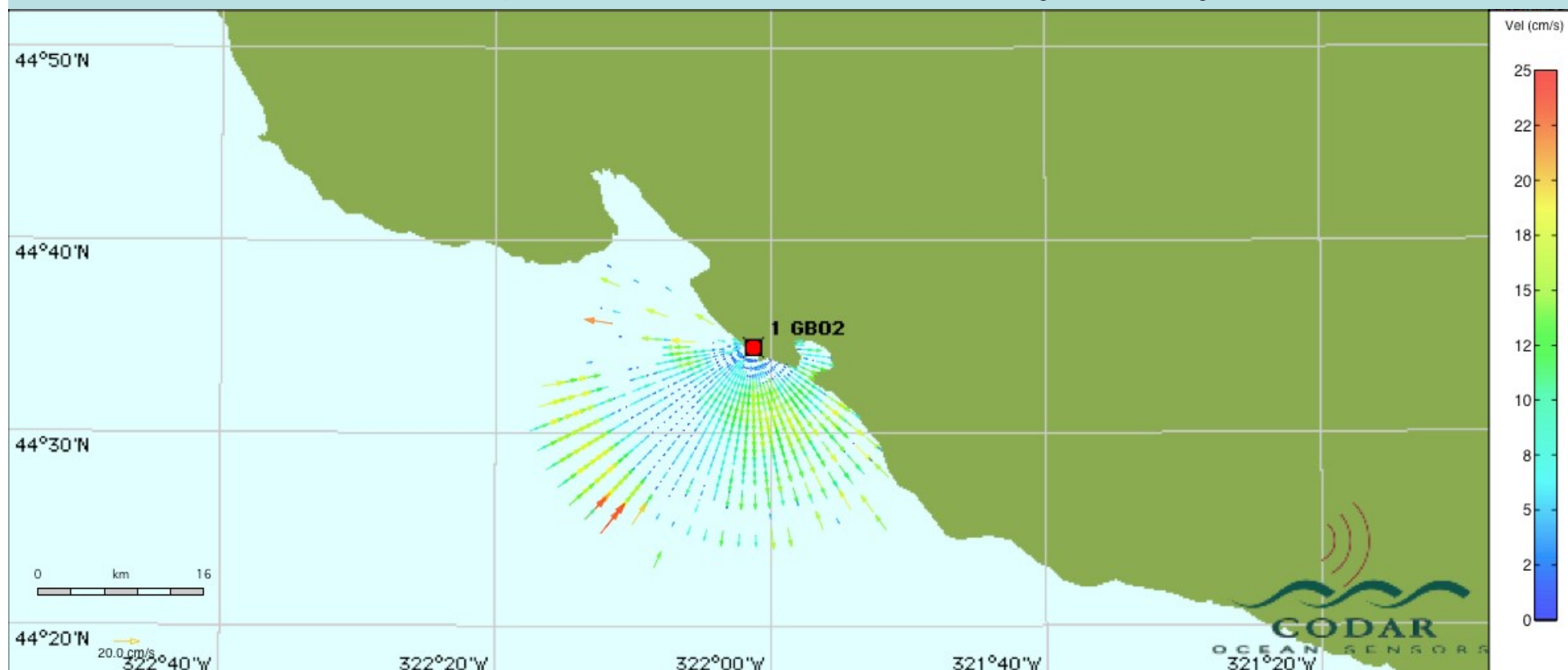
Автоматическая метеостанция

Принимающая антенна



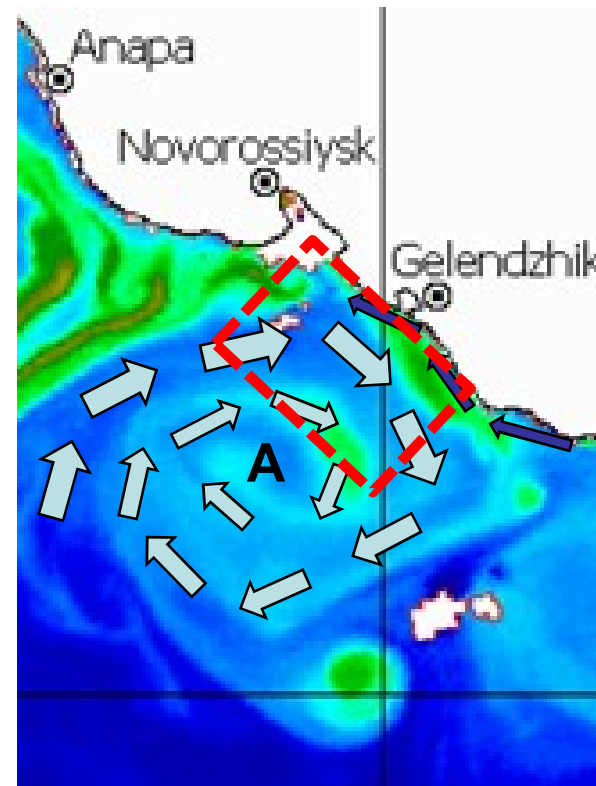
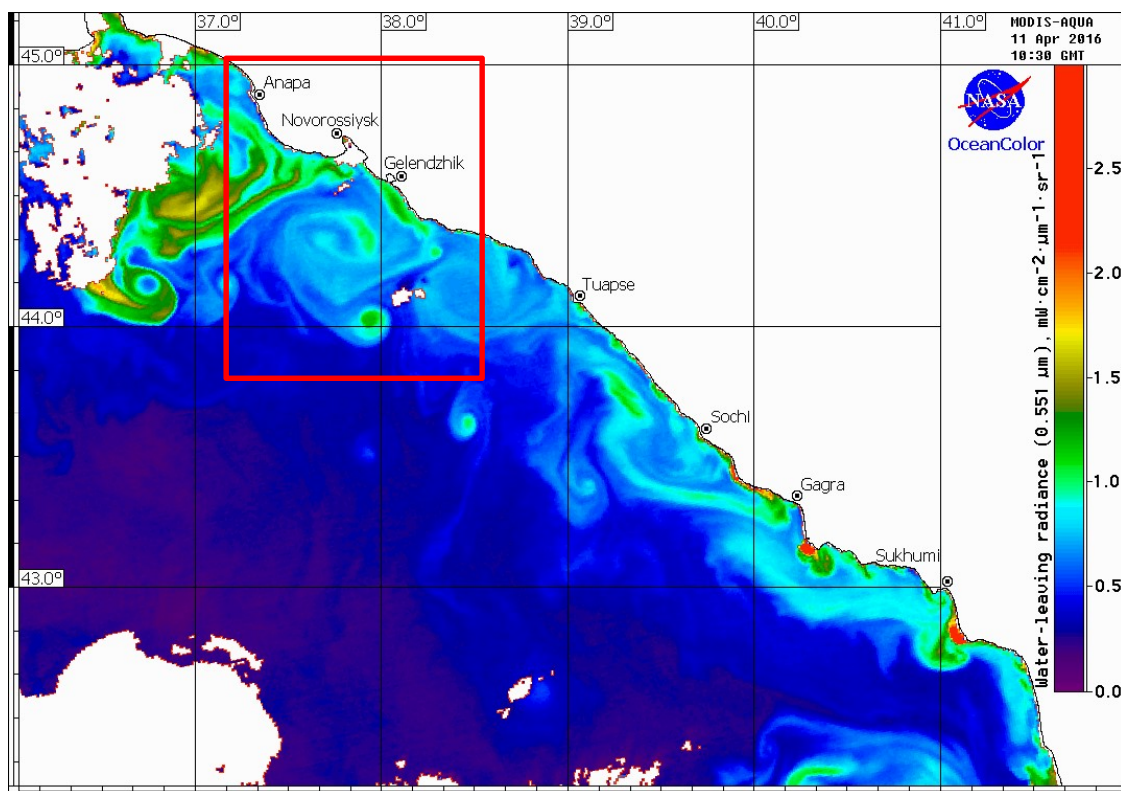
Регистрирующий ноутбук
внутри кунга

Пример измерения радиальных составляющих скорости
поверхностного течения 9 апреля 2016 г. с помощью
доплеровского радара Sea Sonde (CODAR), размещенного в
конце пирса ЮО ИОРАН в Голубой бухте



К.Д. Сабининым (АКИН) и В.В. Горбацким (КГНЦ) предложен метод построения поля скорости поверхностных течений по данным измерения доплеровским радаром из одной точки. Задачей черноморской экспедиции в апреле с. г. являлась проверка данного метода путем сопоставления с данными буксируемого ADCP

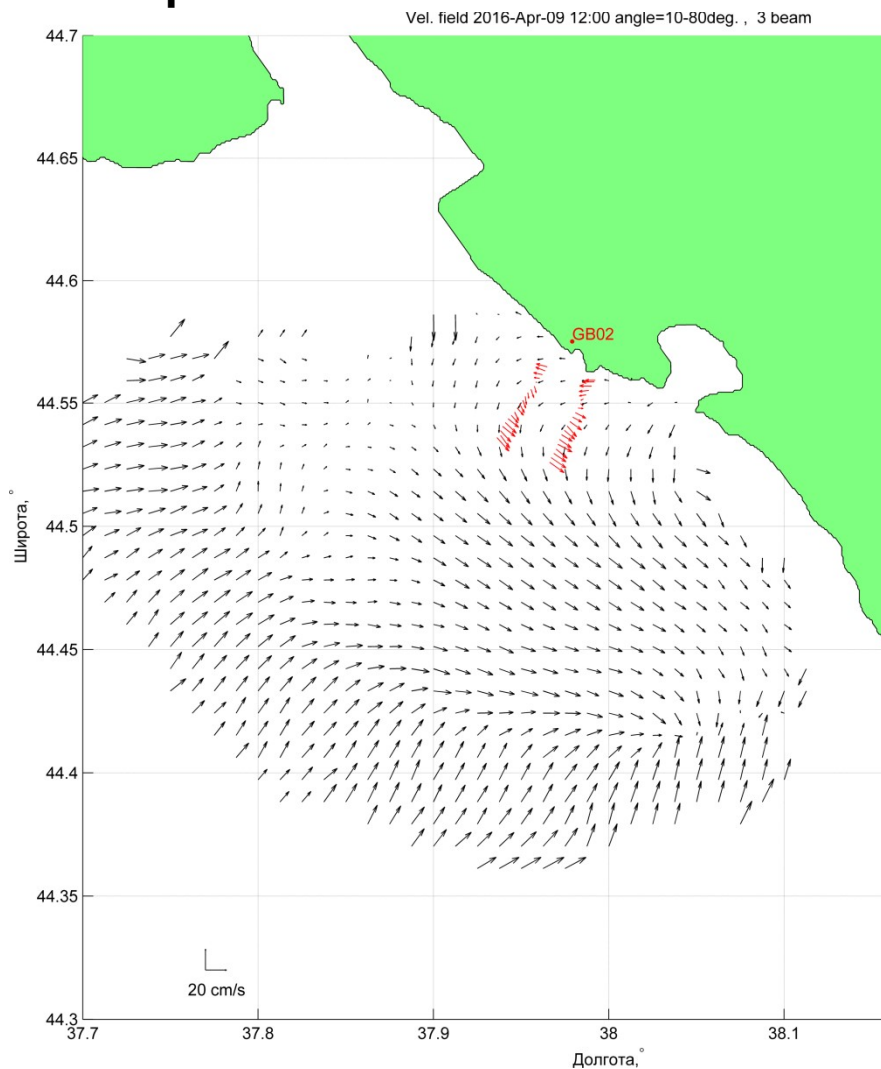
Прибрежные вихревые системы 11 апреля 2016 на спутниковом снимке MODIS-Aqua в поле взвешенного вещества



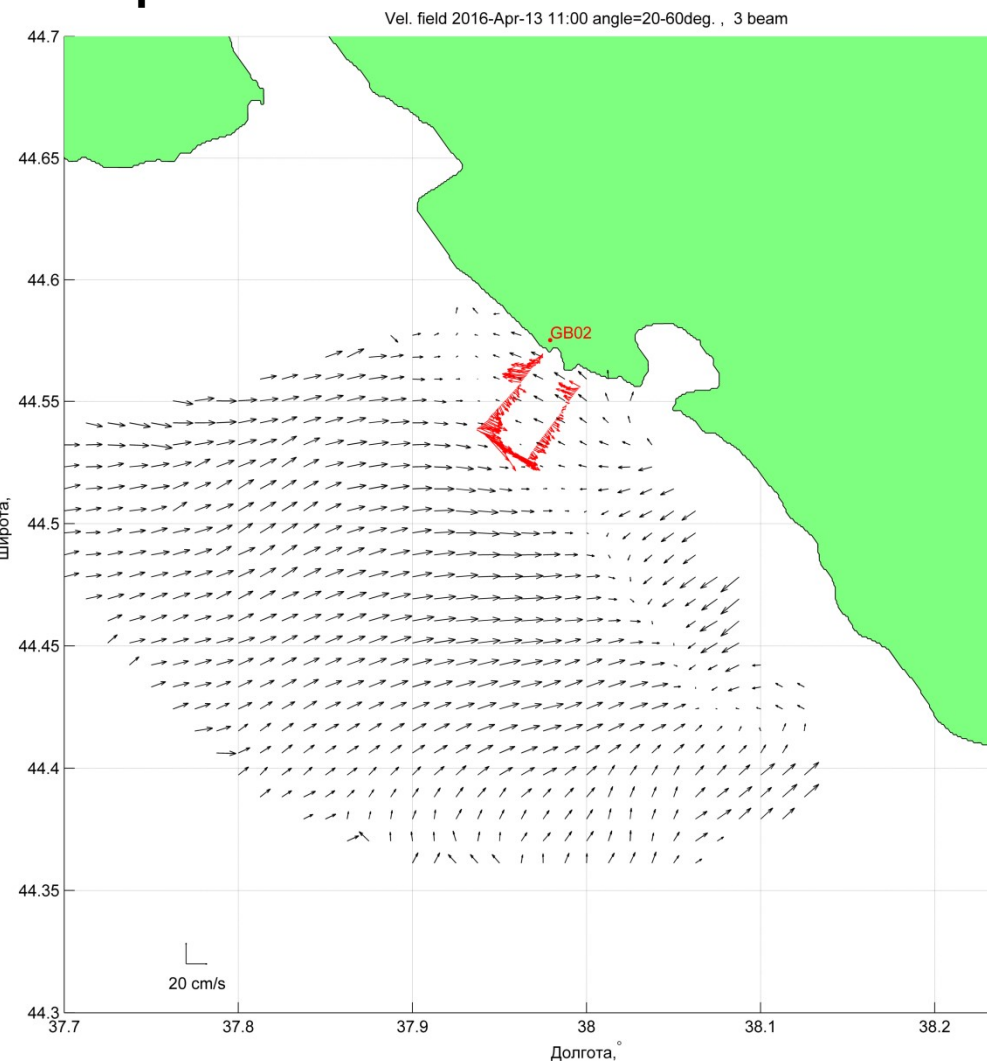
Изображение, отмеченное красным прямоугольником на снимке слева, показано справа крупным планом. Серыми стрелками отображается поле скорости поверхностного течения в мезомасштабном антициклоническом (A) вихре. Синими стрелками у берега показано циклоническое «отжимное» течение. Это структура поля течения проявляется в результатах съемки буксируемым ADCP и в результатах обработки радарных однотоочечных измерений. Область радарных измерений на левом рисунке отмечена жирным красным пунктиром.

Сопоставление результатов «одноточечных» радарных измерений поля скорости поверхностного течения (синие вектора) результатами буксировки ADCP (красные вектора)

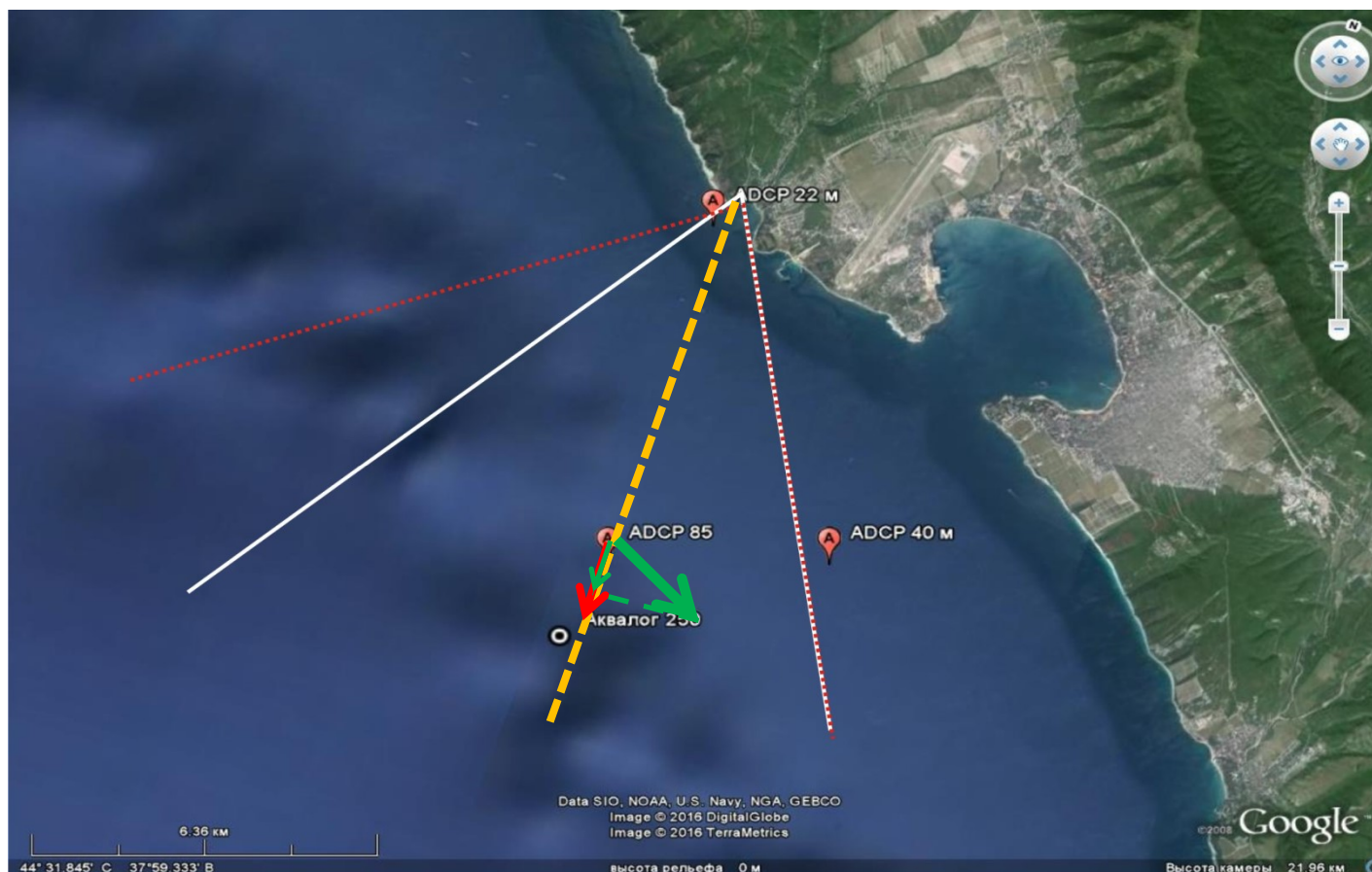
9 апреля 2016 г.



13 апреля 2016 г.



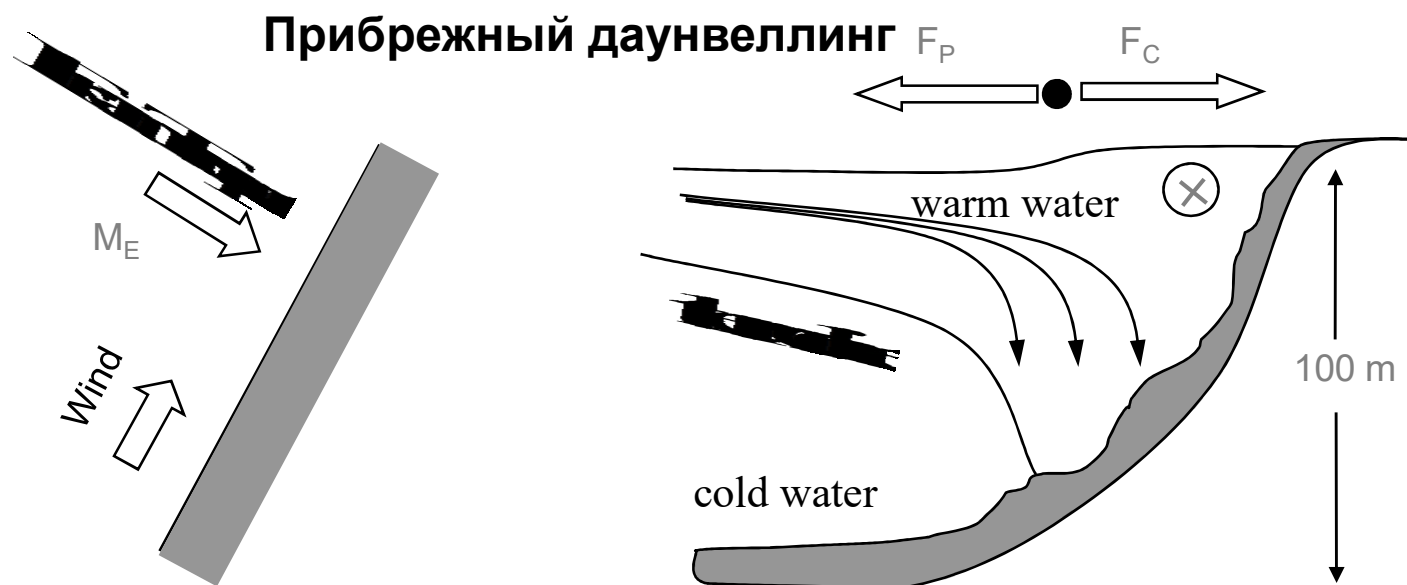
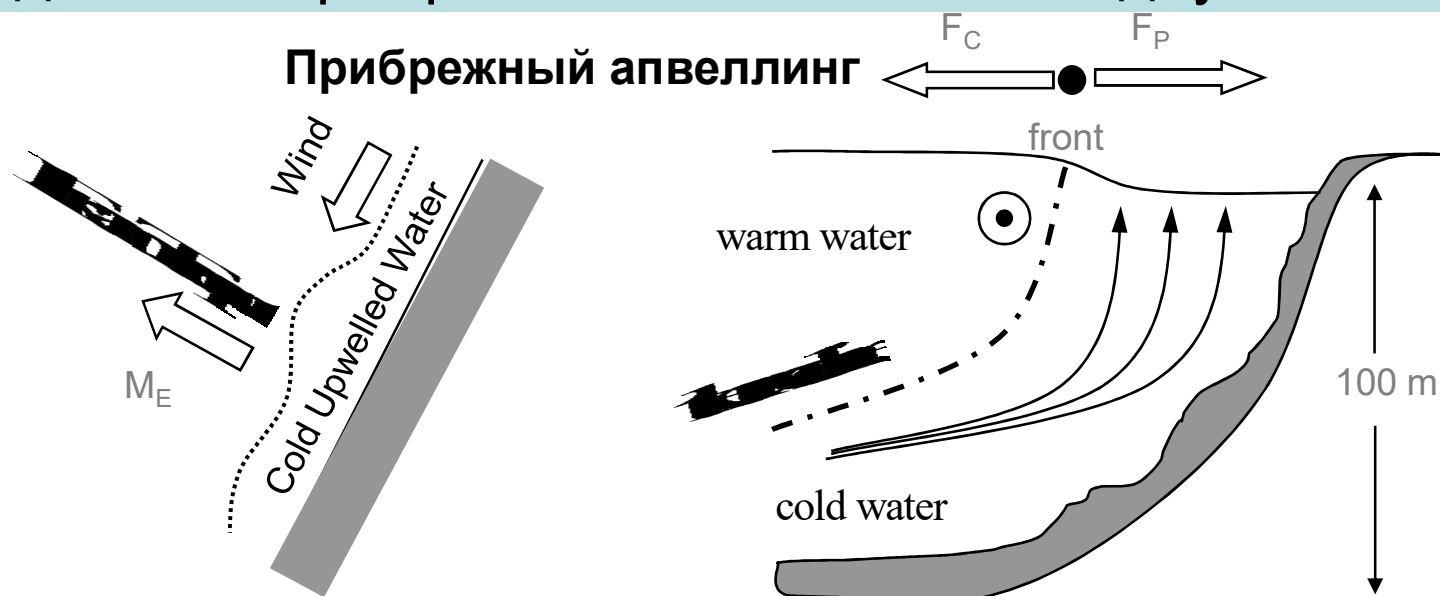
Верификация данных «одноточечных» радарных измерений скорости течения путем сопоставления с данными измерения донной станции ADCP с учетом ветровых условий



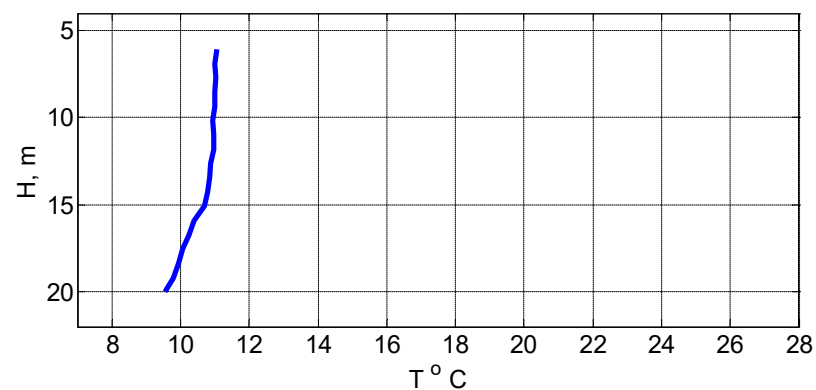
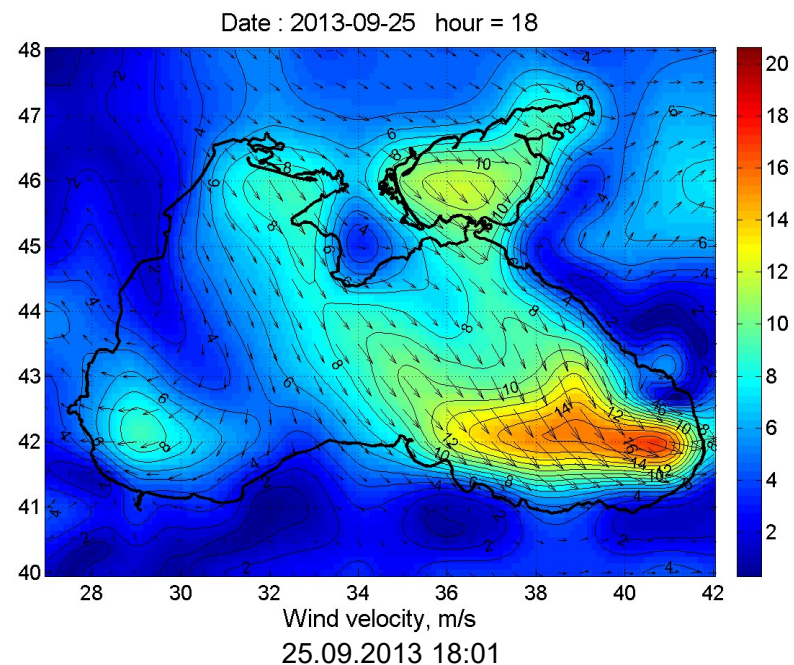
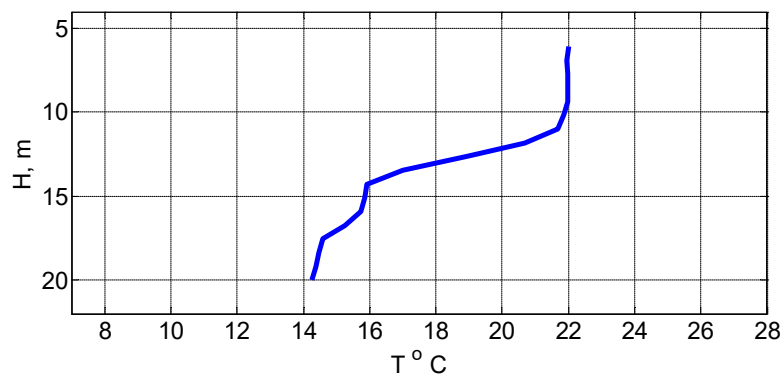
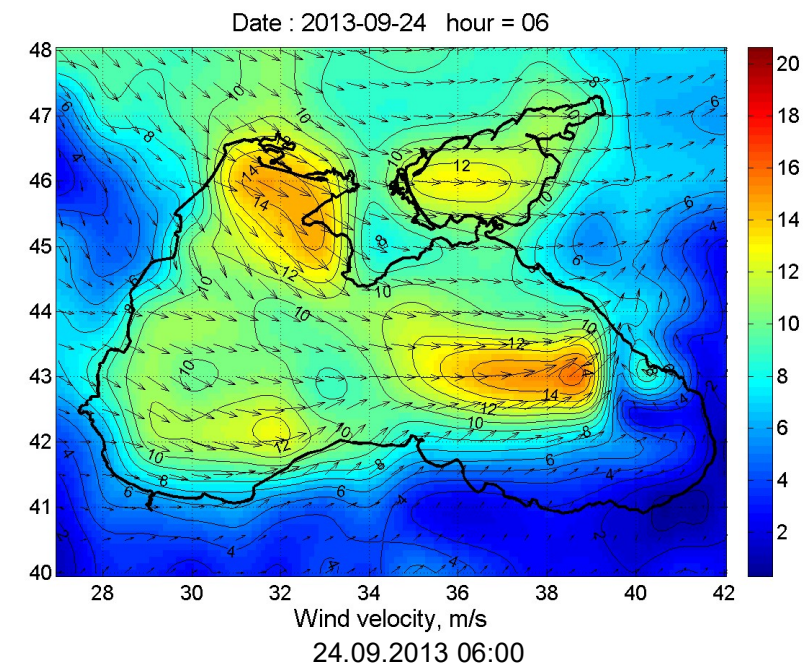
Желтый пунктир – луч радара, проходящий через точку расположения донной станции ADCP, красный вектор – радиальная составляющая скорости поверхностного течения, измеряемая радаром, зеленый жирный вектор – скорость течения, измеряемая ADCP, зеленый тонкий вектор – проекция скорости, измеряемой ADCP на направление радарного пучка.

Гидродинамический отклик прибрежно-шельфовой зоны на динамику вод на ветровое воздействие

Исследование прибрежных апвеллингов и даунвеллингов

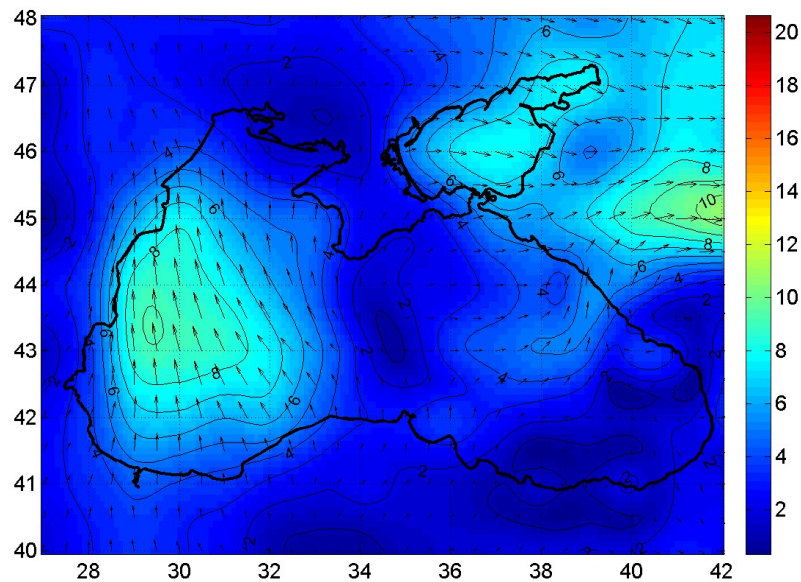


Поле ветра над черноморским регионом в начале апвеллинга и в конце стадии его развития (данные реанализа NCEP и соответствующие профили температуры (данные Термокосы))

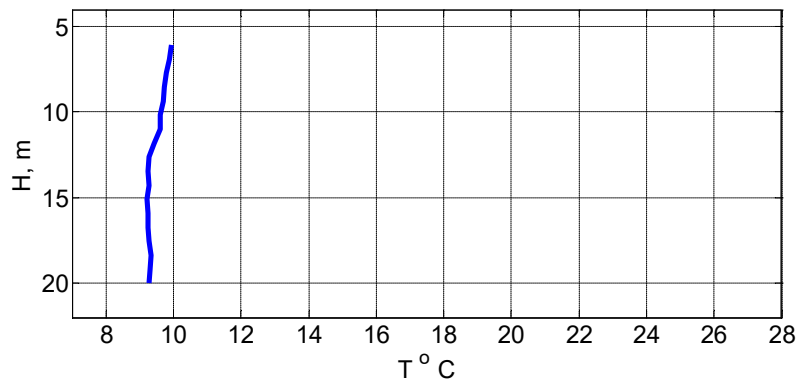


Поле ветра над черноморским регионом в начале даунвеллинга и в конце стадии его развития (данные реанализа NCEP и соответствующие профили температуры (данные Термокосы))

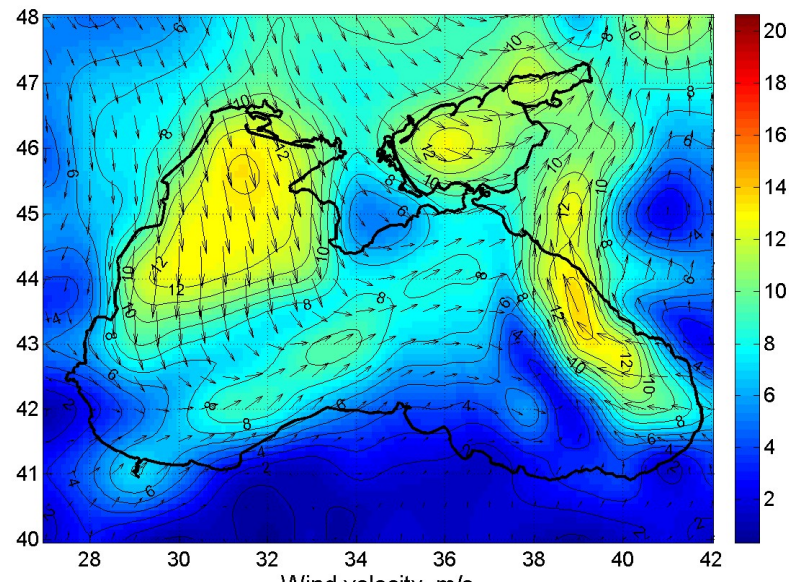
Date : 2013-09-26 hour = 06



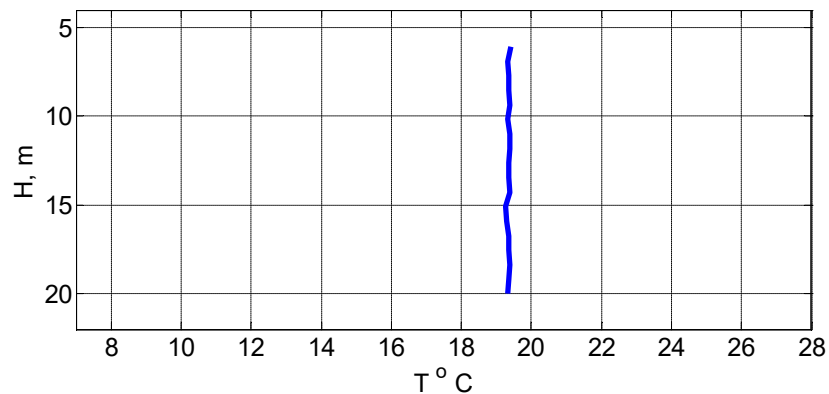
Wind velocity, m/s
26.09.2013 06:01



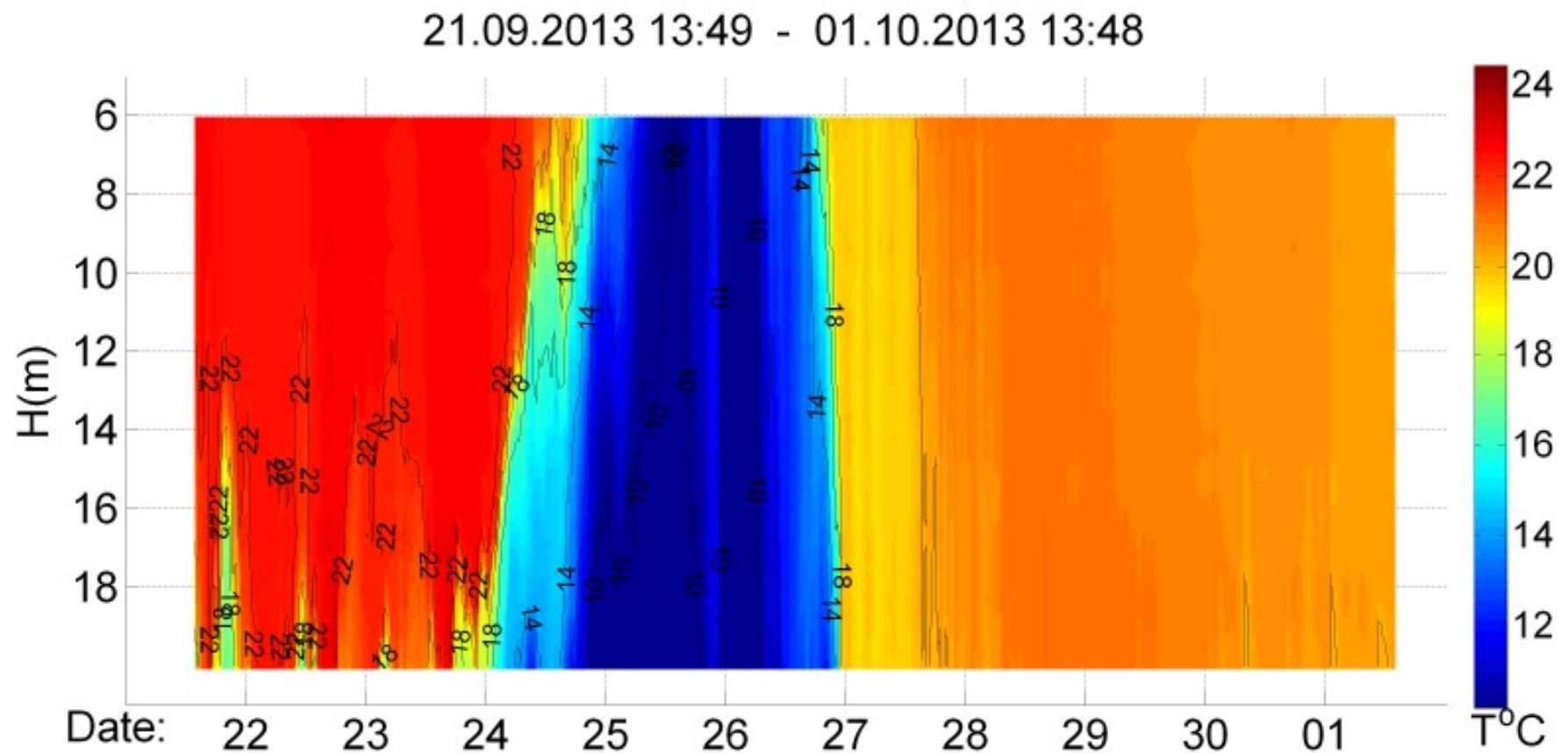
Date : 2013-09-27 hour = 06



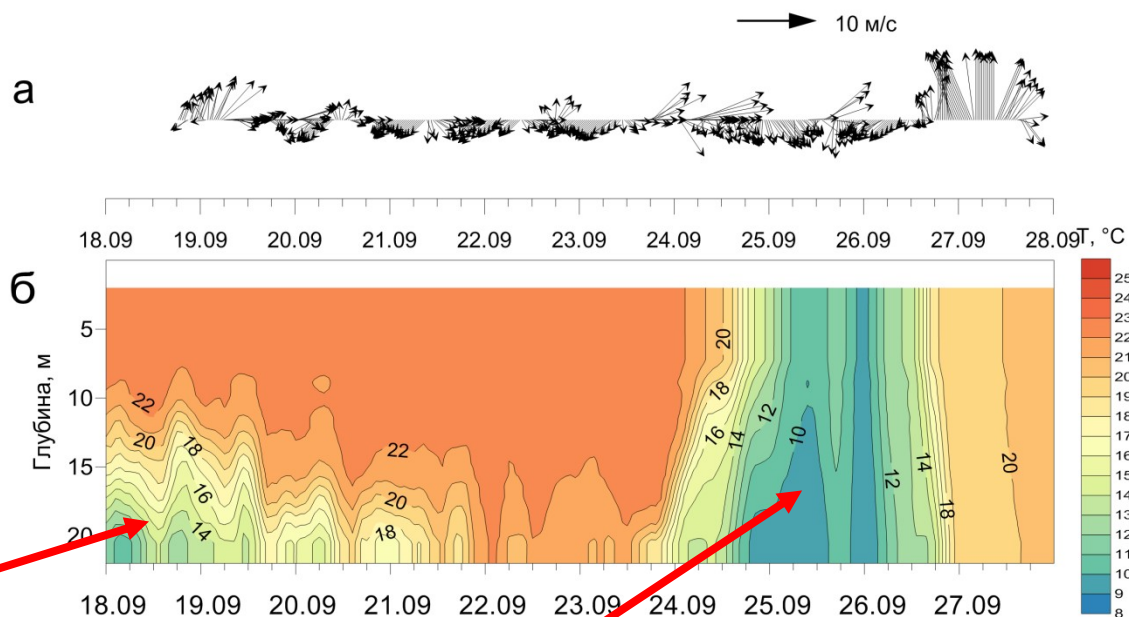
Wind velocity, m/s
27.09.2013 06:01



Данные Термокосы в период интенсивного апвеллинга-даунвеллинга 24-28 сентября 2013 г.



Скорость ветра по данным автоматической метеостанции на пирсе

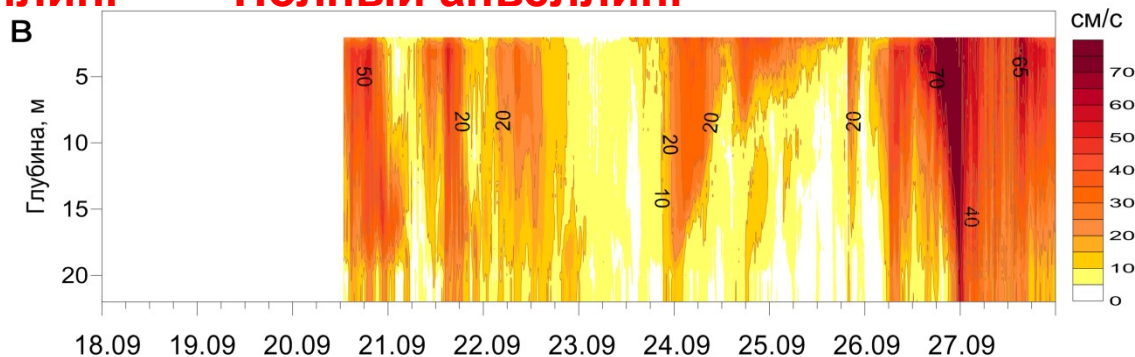


Вертикальное распределение температуры воды по данным Термокосы

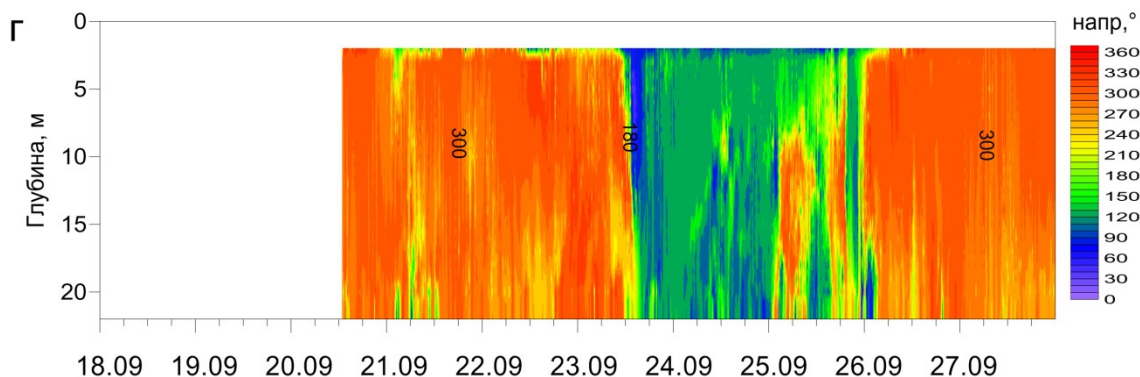
Неполный апвеллинг

Полный апвеллинг

Модуль скорости течения по данным донного ADCP



Направление скорости течения по данным донного ADCP



Простой критерий развития полного экмановского прибрежного апвеллинга для двуслойной жидкости

Интегральный экмановский перенос перпендикулярно берегу:

$$M_y = uH_0 = wR_d = \tau_x / f\rho_w \quad (1)$$

u – скорость интегрального экмановского дрейфа перпендикулярная берегу;

H_0 – начальная толщина верхнего квазиоднородного (экмановского) слоя;

w – вертикальная скорость в области апвеллинга;

R_d - локальный бароклинный радиус деформации Россби;

τ_x – вдольбереговая составляющая напряжения трения ветра;

f – параметр Кориолиса;

$\Delta\rho$ - перепад плотности между верхним и нижним слоями воды;

ρ_w – плотность морской воды.

Вертикальная скорость в области апвеллинга:

$$w = \tau_x / (f\rho_w R_d) \quad (2)$$

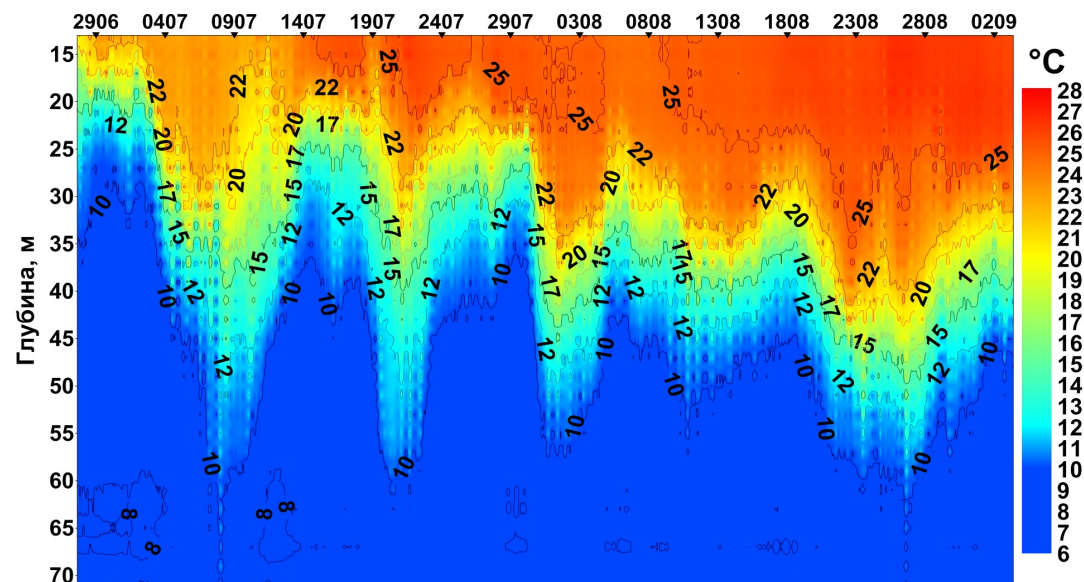
Локальный бароклинный радиус деформации Россби:

$$R_d = (\Delta\rho g H_0 / \rho_w)^{0.5} / f \quad (3)$$

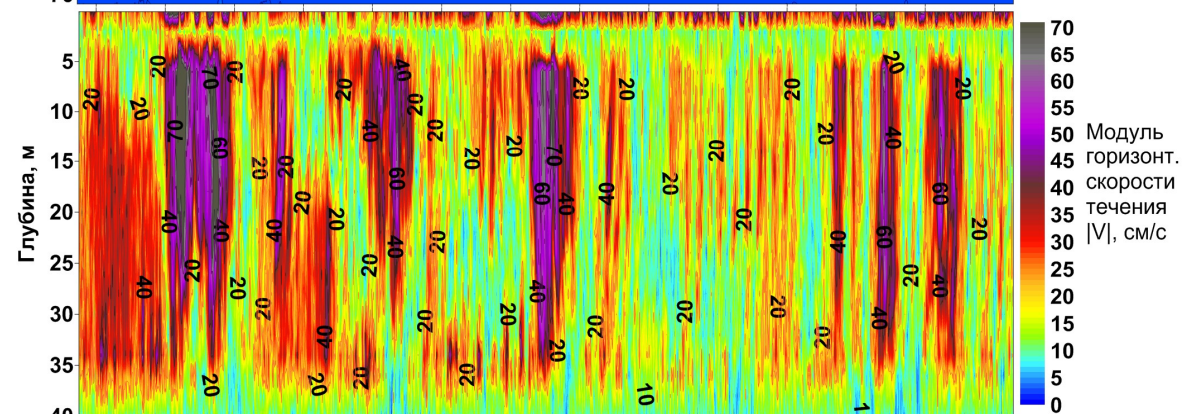
Безразмерный критерий развития полного апвеллинга:

$$wt/H > 1 \quad (4)$$

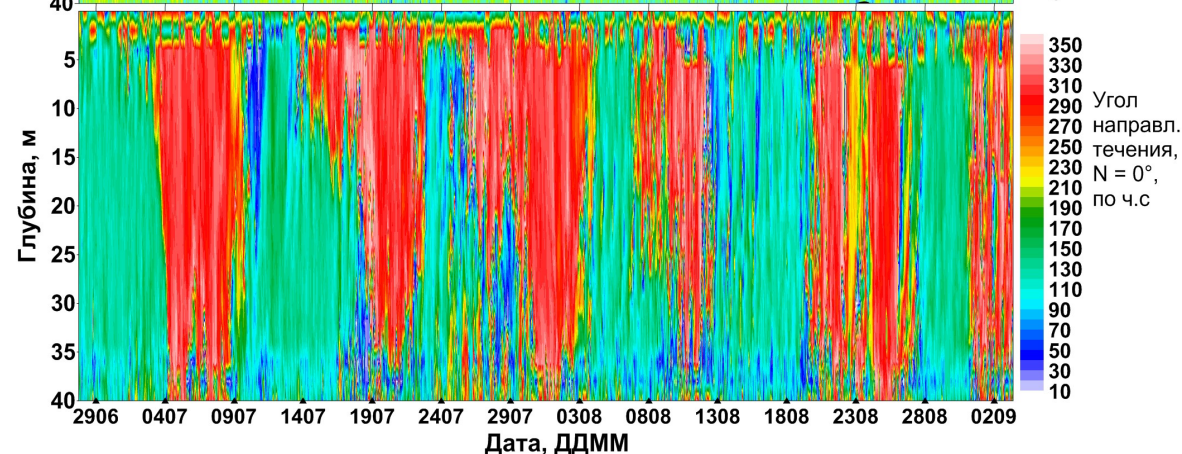
Вертикальные колебания
толщины ВКС и сезонного
термоклина с периодом 5-
15 суток по данным
термокосы (85 м) в июне-
сентябре 2013 г.



Модуль скорости
вдольберегового течения в
верхнем 40-м слое моря по
данным ADP Sontek (85 м) в
июне-сентябре 2013 г.

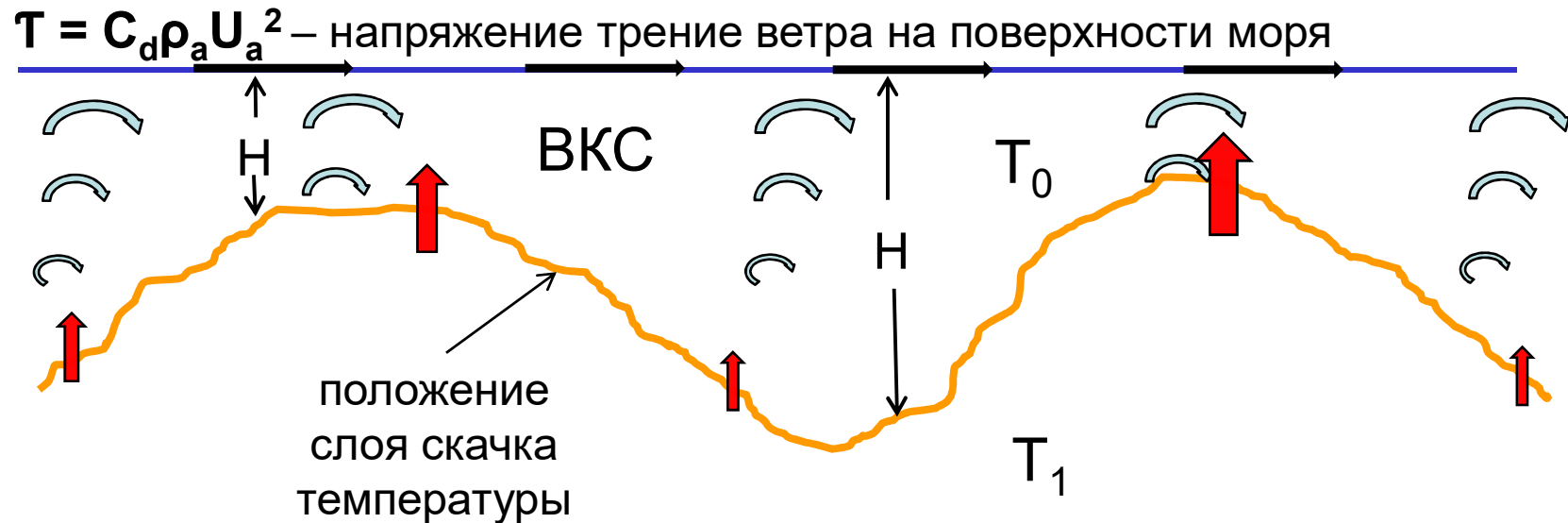


Направление скорости
вдольберегового течения в
верхнем 40-м слое моря по
данным ADP Sontek (85 м)
в июне-сентябре 2013 г.



**Роль ветро-волновой
турбулентности в динамике ВКС и
повышении его
биопродуктивности**

Турбулентное вовлечение из сезонного термоклина в ВКС, генерируемое ветровым воздействием



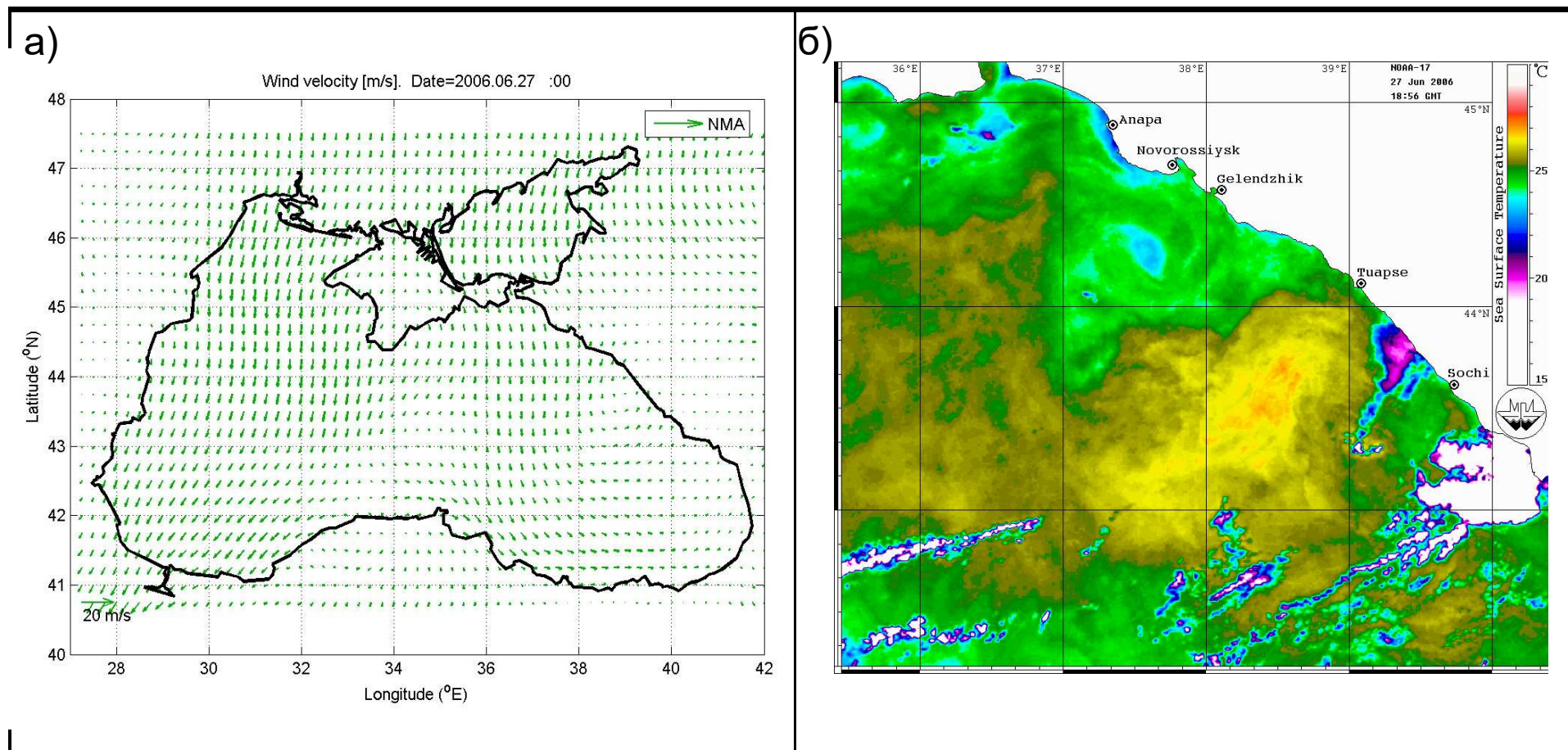
$W_E = 2.5(U_*^3 - BH)/(gH\Delta\rho/\rho_w)$ — скорость турбулентного вовлечения «термоклинной» воды в ВКС (Kato, Phillips, 1968), где:

$U_* = (T/\rho_w)^{0.5} = (C_d\rho_a/\rho_w)^{0.5}U_a$ — динамическая скорость трения в воде

$B = g\alpha Q_t/\rho_w c_p$ — поток плавучести через границу раздела воздух-вода

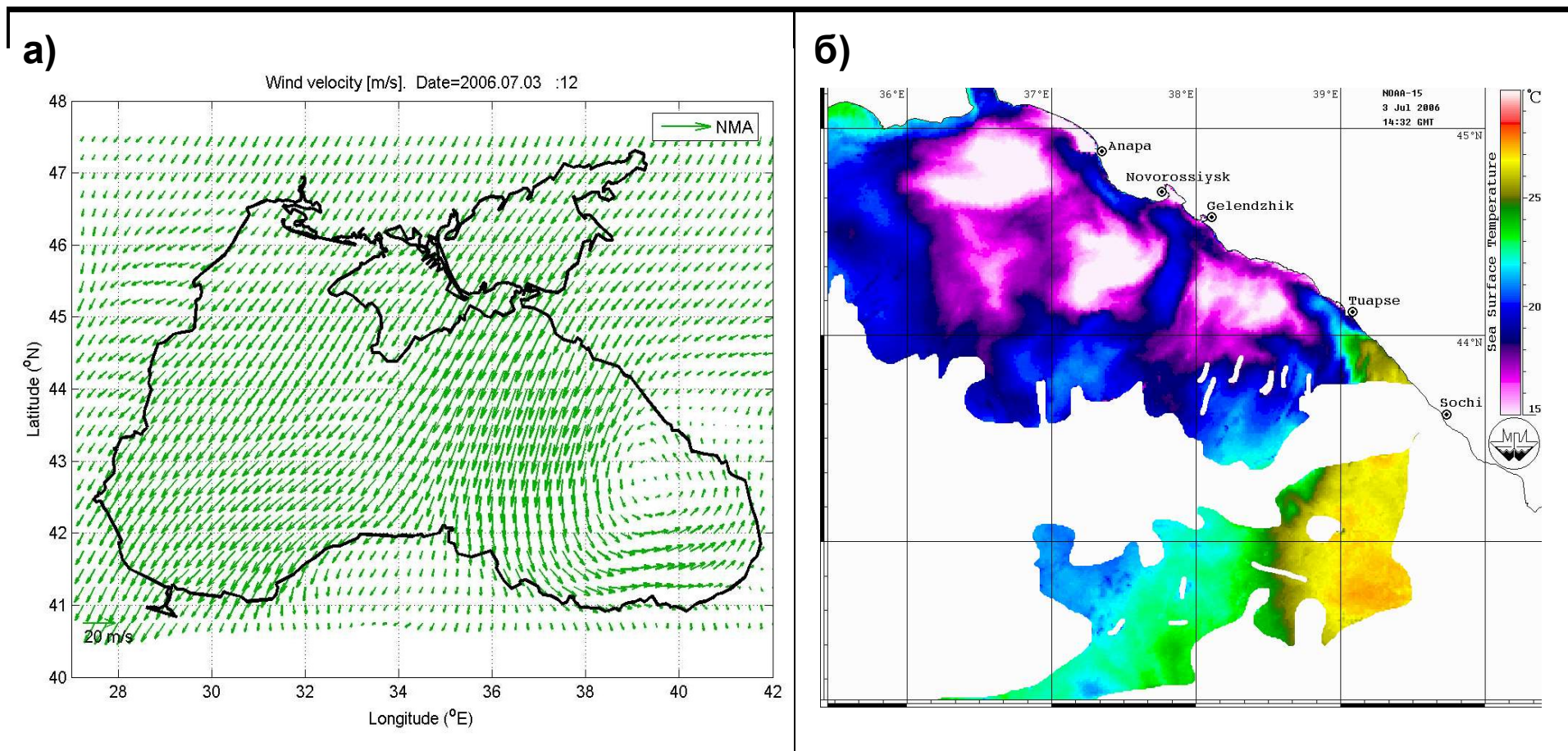
Скорость вовлечения пропорциональна кубу скорости ветра и обратно пропорциональна толщине ВКС. Сильное ветровое воздействие в период неполного апвеллинга может многократно увеличивать поток биогенов и первичную продукцию в ВКС (фотическом слое)

Реакция температуры морской поверхности (ТПМ) на сильное ветровое воздействие («норд-ост»): ТПМ до «норд-оста»



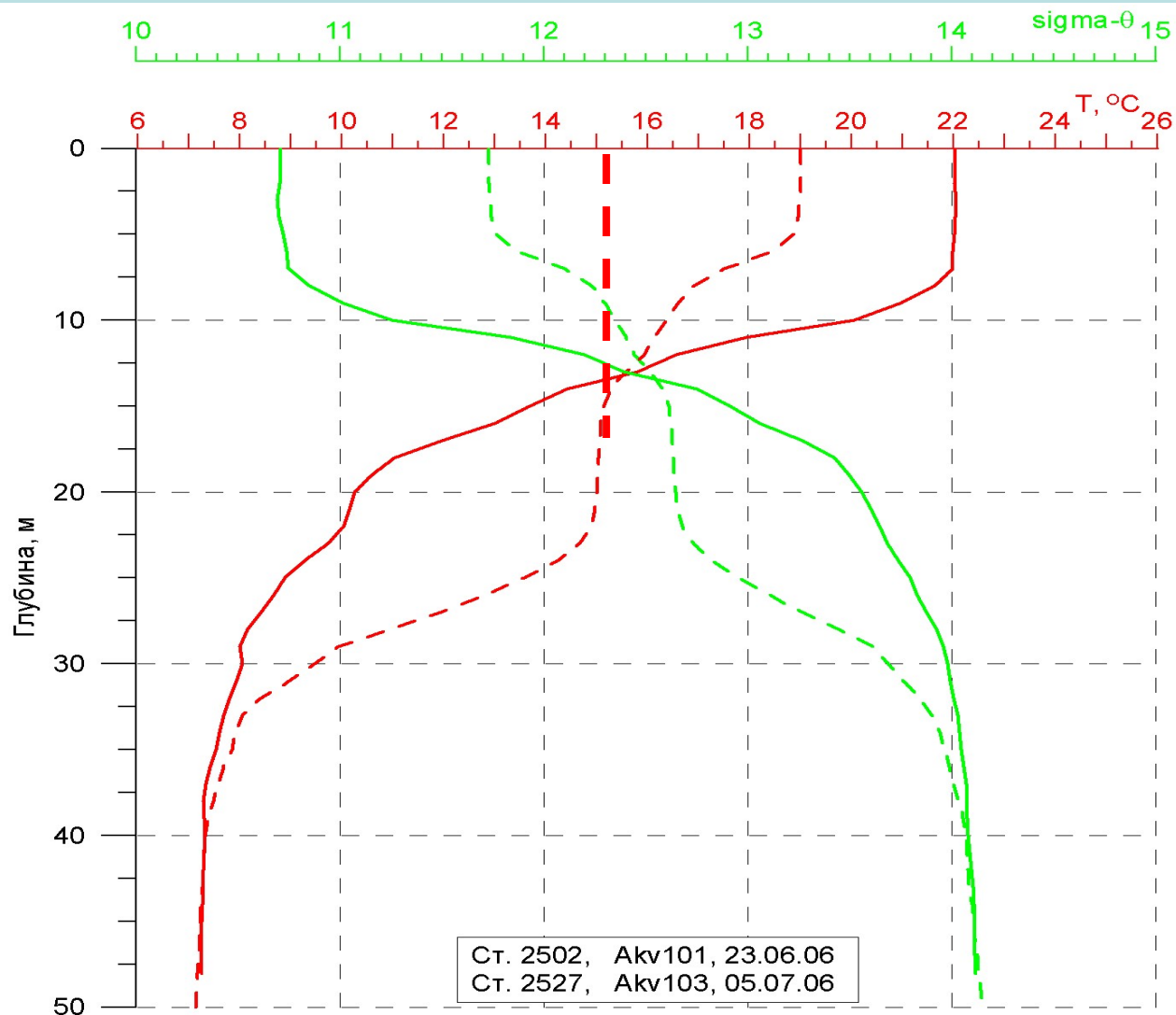
Распределения скорости ветра над поверхностью Черного моря 27.06.06 по данным реанализа NMA (а) и температуры поверхности воды в северо-восточной части Черного моря в тот же день – спутниковое изображение NOAA 17 (б).

Реакция температуры морской поверхности (ТПМ) на сильное ветровое воздействие («норд-ост»): 2-е сутки «норд-оста»



Распределения скорости ветра над поверхностью Черного моря 03.07.06 по данным реанализа NMA **(а)** и температуры поверхности воды в северо-восточной части Черного моря в тот же день – спутниковое изображение NOAA 17 **(б)**.

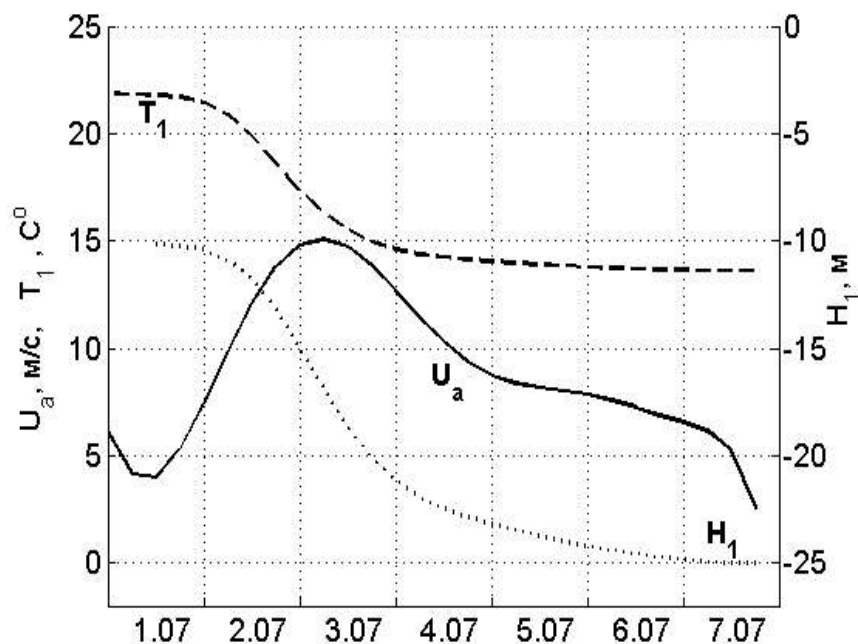
Профили температуры и условной потенциальной плотности до и после «норд-оста»



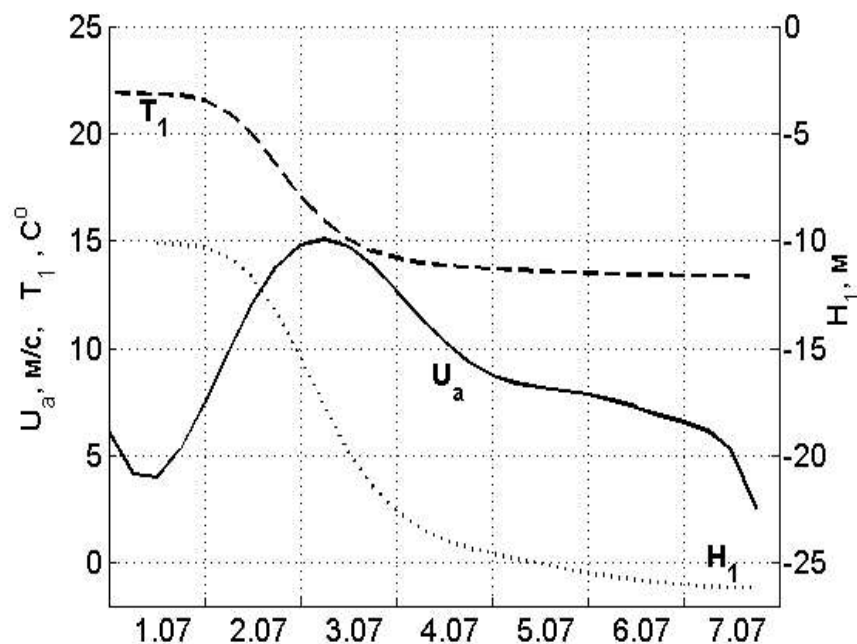
Профили температуры, $T, ^\circ\text{C}$ - красные линии и условной потенциальной плотности, $\sigma\text{-}\theta$ – зеленые линии в северо-восточной части Черного моря до интенсивного ветрового воздействия (сплошные линии) и после него (пунктирные линии)

Проверка модели турбулентного вовлечения Като – Филлипса (1968)

а)

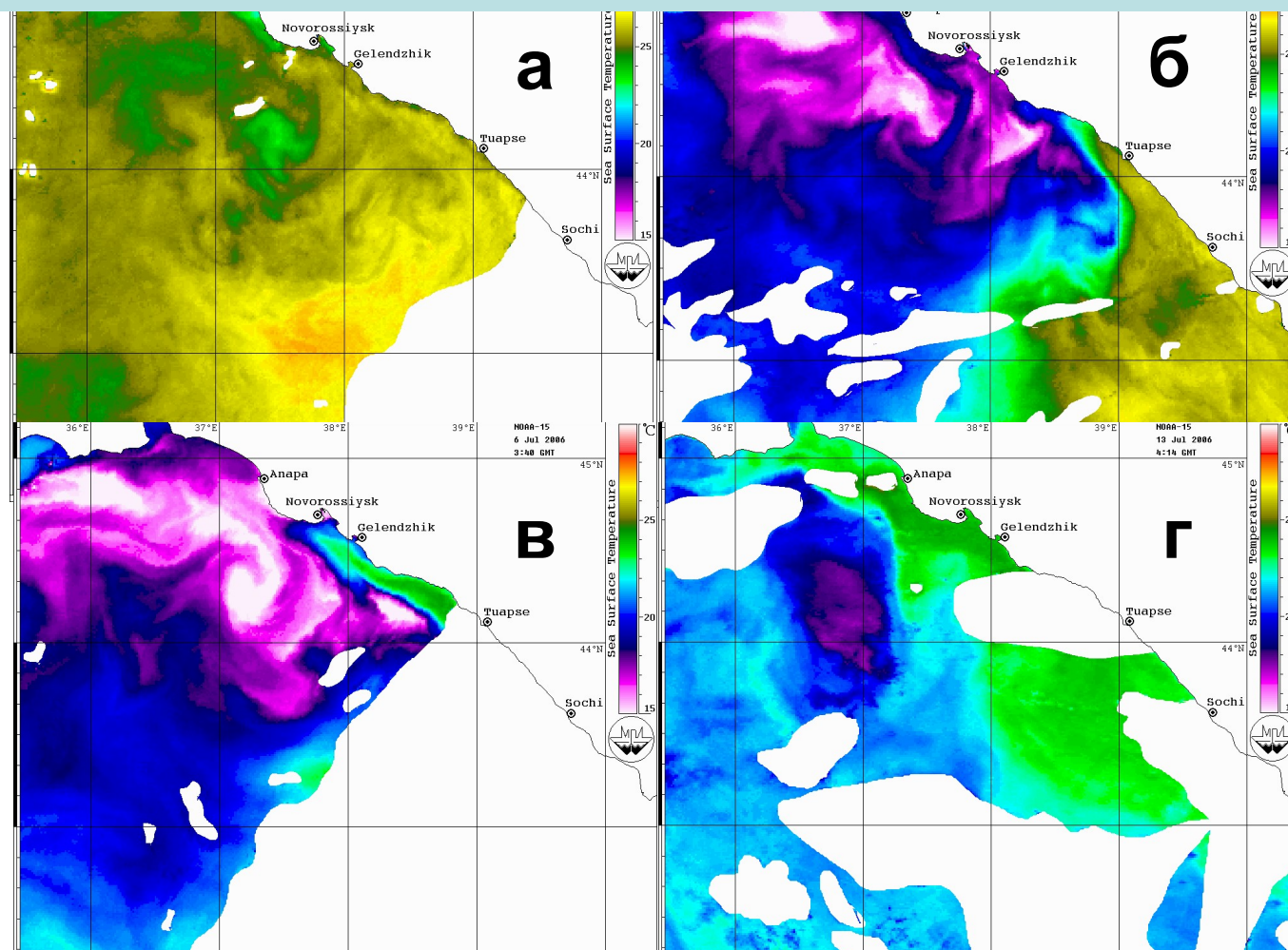


б)



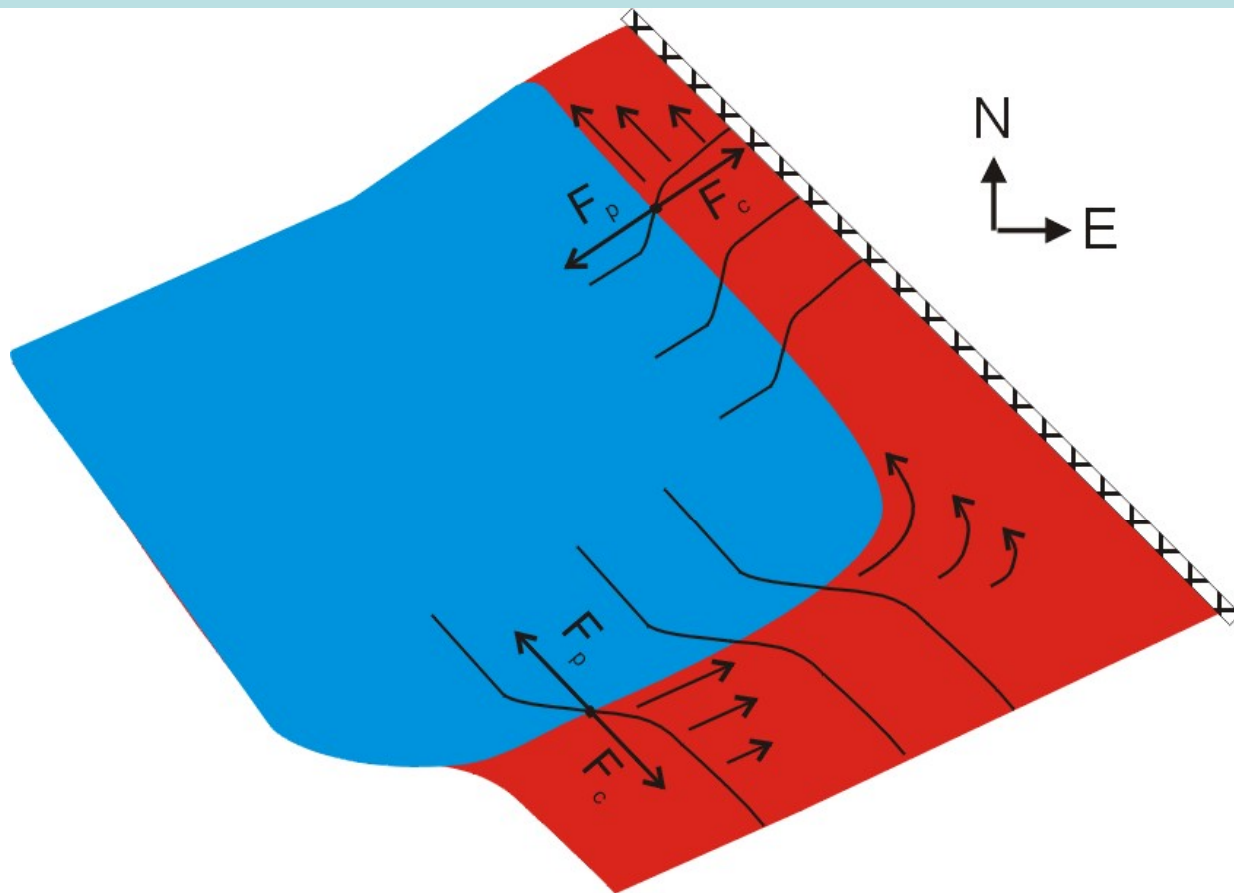
Временной ход аппроксимации модуля скорости ветра U_a по данным NCEP, а также расчетной толщины H_1 и температуры T_1 перемешанного слоя в зоне сильных ветров с использованием параметризаций турбулентного вовлечения Като-Филлипса и коэффициента трения морской поверхности C_d по формулам Кондо (а) и Гаррата (б) в период 01-07 июля 2006 г.

Формирование прибрежного «теплого» течения из-за пространственно-неоднородного ветрового воздействия на ВКС в Черном море



Серия последовательных температурных изображений северо-восточной части Черного моря, полученных со спутников NOAA 15 и 17 в июле 2006 г.(далее дата снимка – число, и время московское – часы, минуты): **а) 01.07, 16:03; б) 04.07, 11:07; в) 06.07, 00:40; г) 13.07, 01:40.**

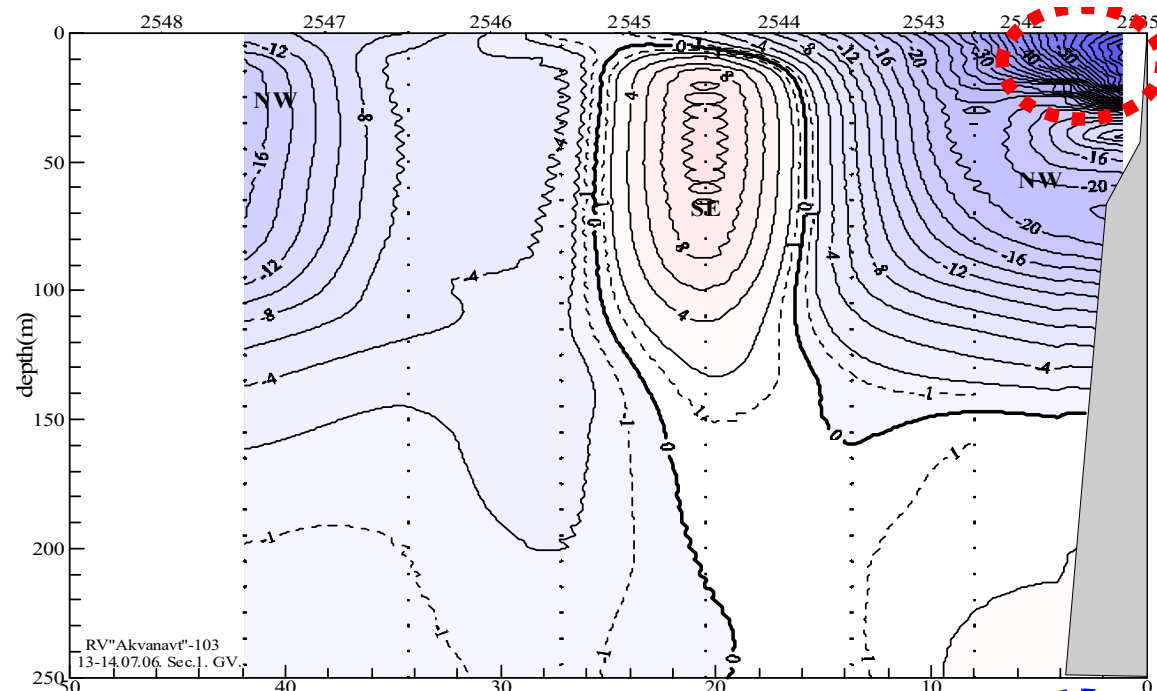
Схема формирования вдольберегового течения (вид сверху).



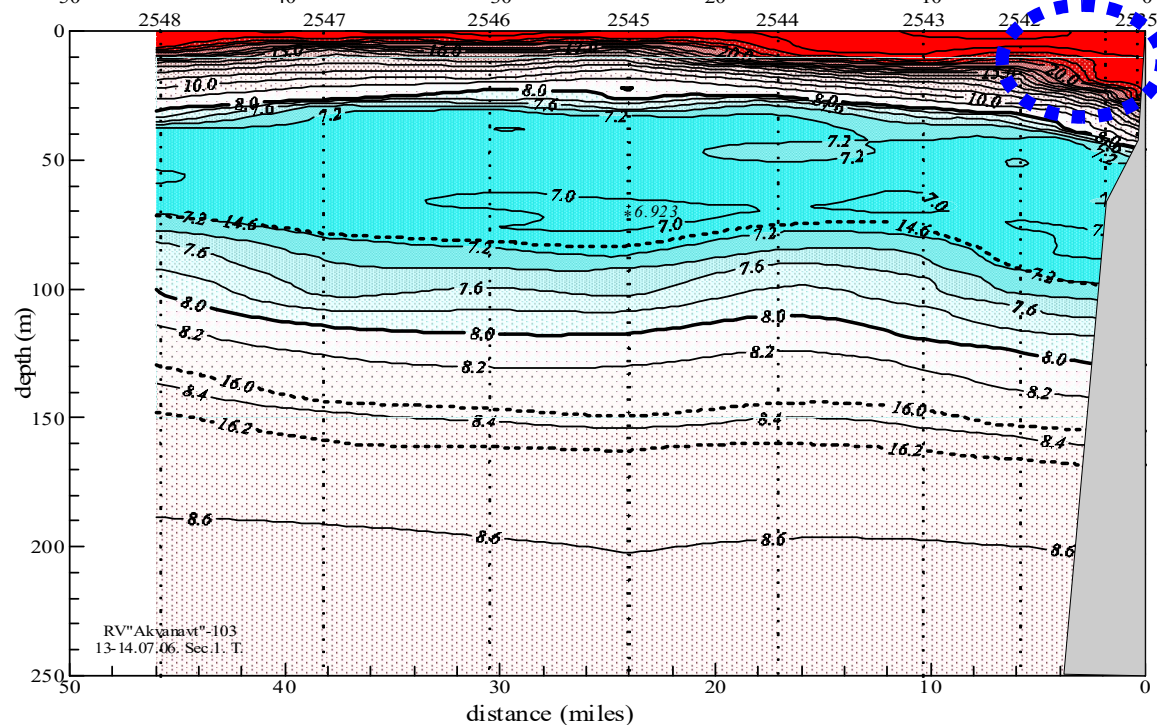
Синим цветом обозначена область "холодного" верхнего слоя с пониженным уровнем поверхности моря. Красным – область "теплого" верхнего слоя с повышенным уровнем морской поверхности. Наклонная полоса справа, заполненная треугольниками – береговая черта. Сплошные кривые отображают повышение уровня моря при переходе из области холодной воды в область теплой.

Распределения
параллельной
берегу
составляющей
геострофической
скорости течения
(см/с) (**вверху**) и
температуры
(**внизу**) на
разрезе,
выполненном 14-
16.07.2006 через
вдольбереговую
струю течения

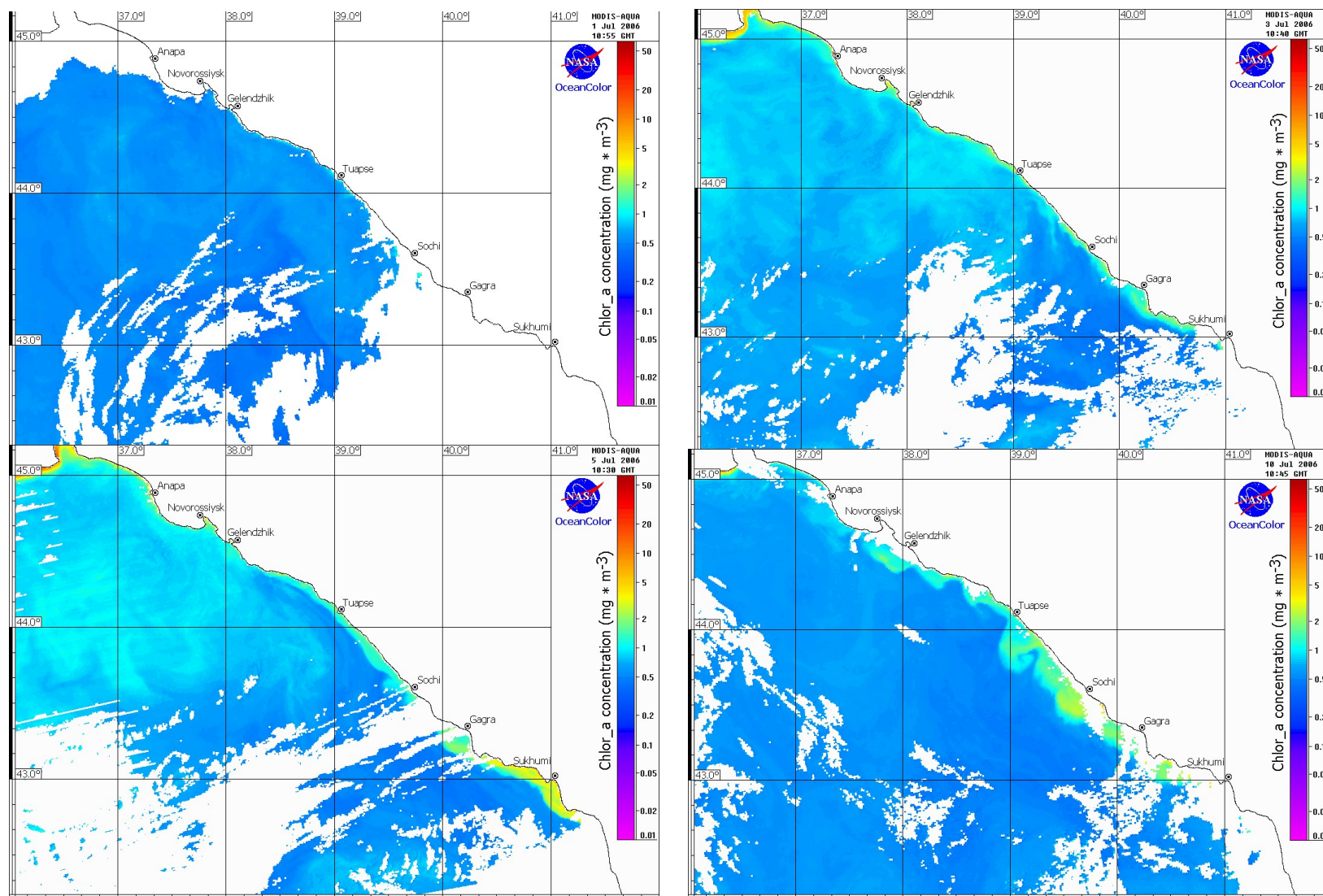
(a)



(b)

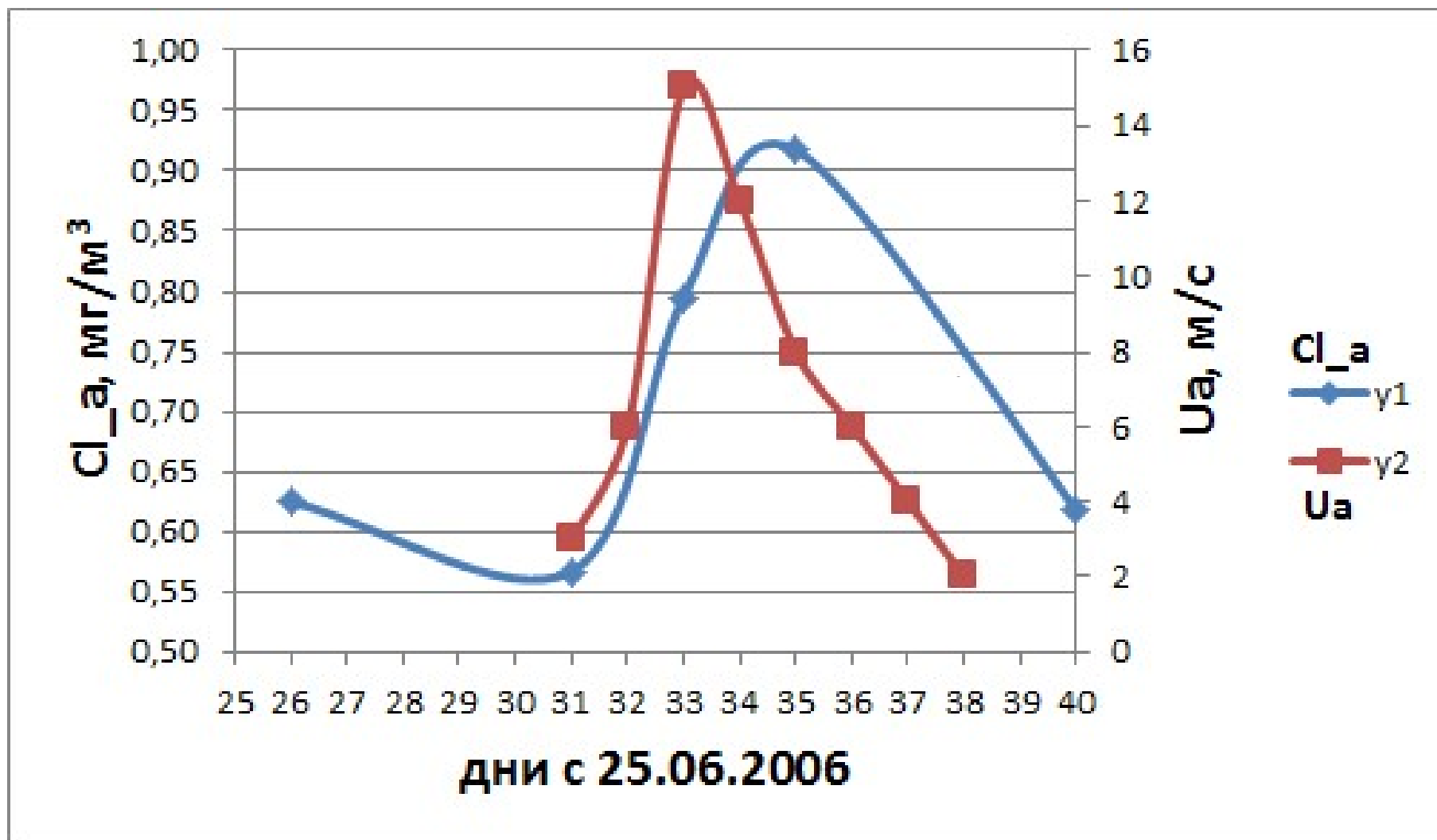


Реакция «спутникового» хлорофилла «а» на ветровое воздействие и турбулентное вовлечение



Содержание хлорофилла «а» (mg/m^3) в приповерхностном слое моря по данным спутникового сканера MODIS-Aqua: а) 01 07; б) 03 07; в) 05 07; г) 10 07 2006

Реакция «спутникового» хлорофилла «а» на ветровое воздействие и турбулентное вовлечение (25.06-10.07.2006)

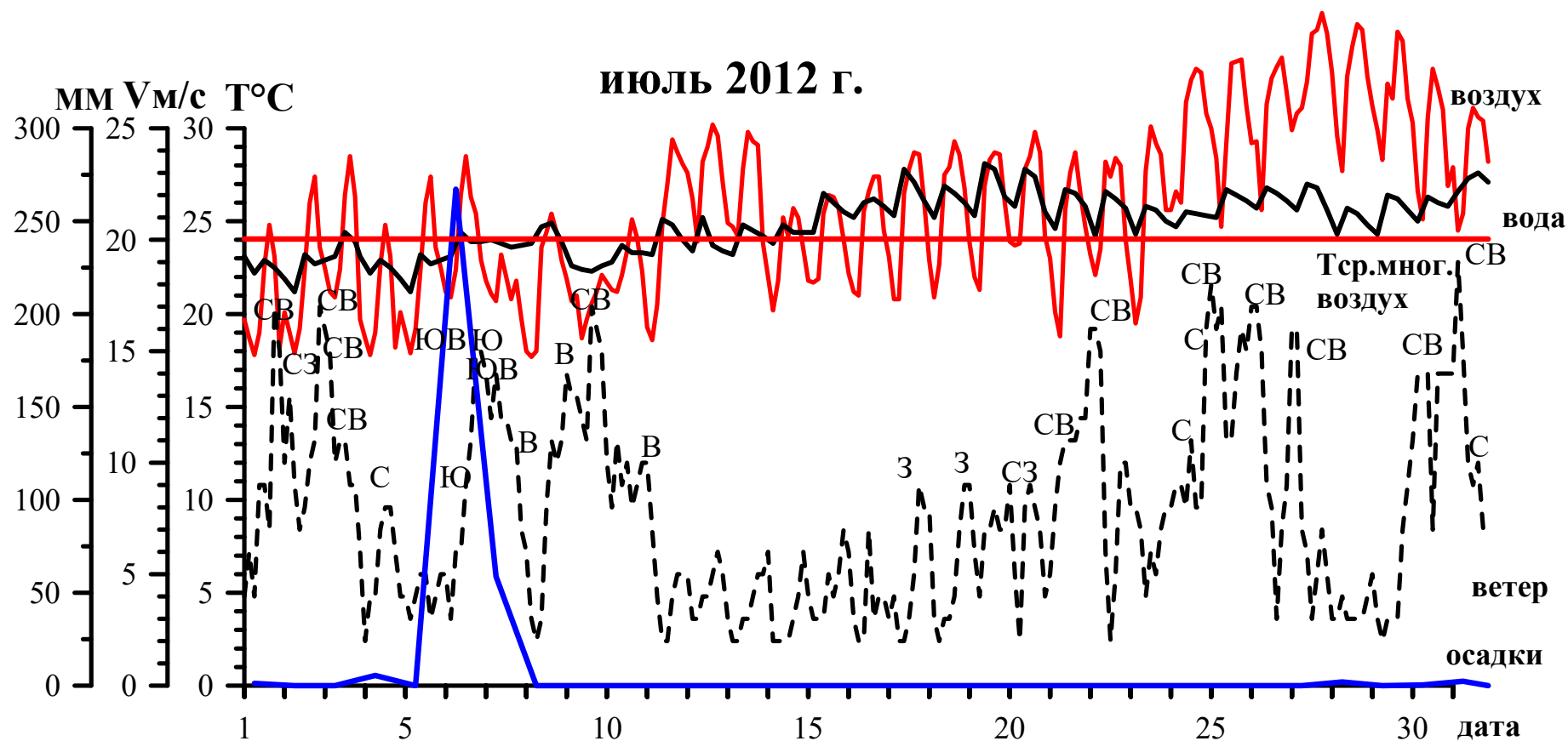


Содержание хлорофилла_a, mg/m^3 (синие), скорость ветра, m/s (красные)

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ НА БЕРЕГОВОЙ ПРЕСНОВОДНЫЙ СТОК

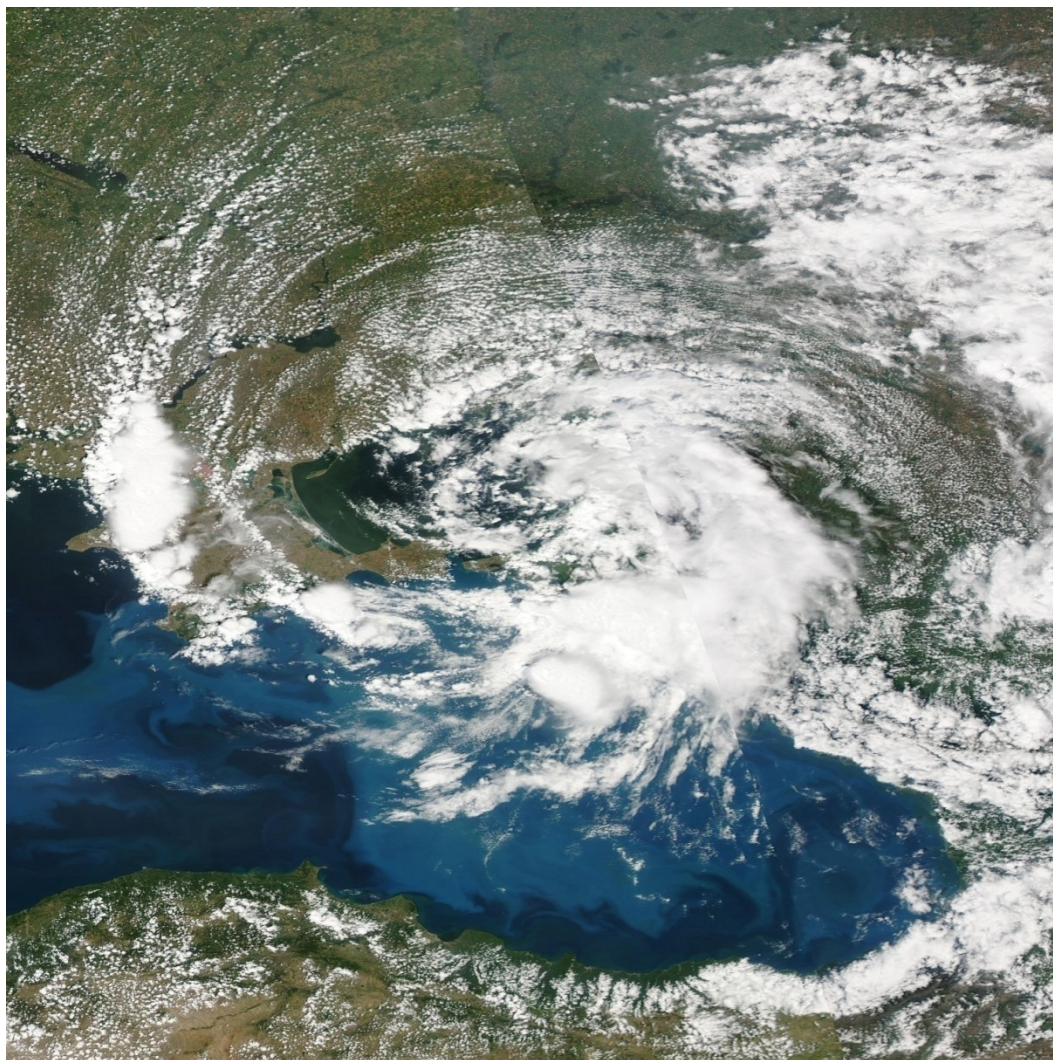
(РЕАКЦИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА
КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ЛИВЕНЬ 06-07
ИЮЛЯ 2012 Г.)

Ход метеопараметров в Геленджике в июле 2012 г.

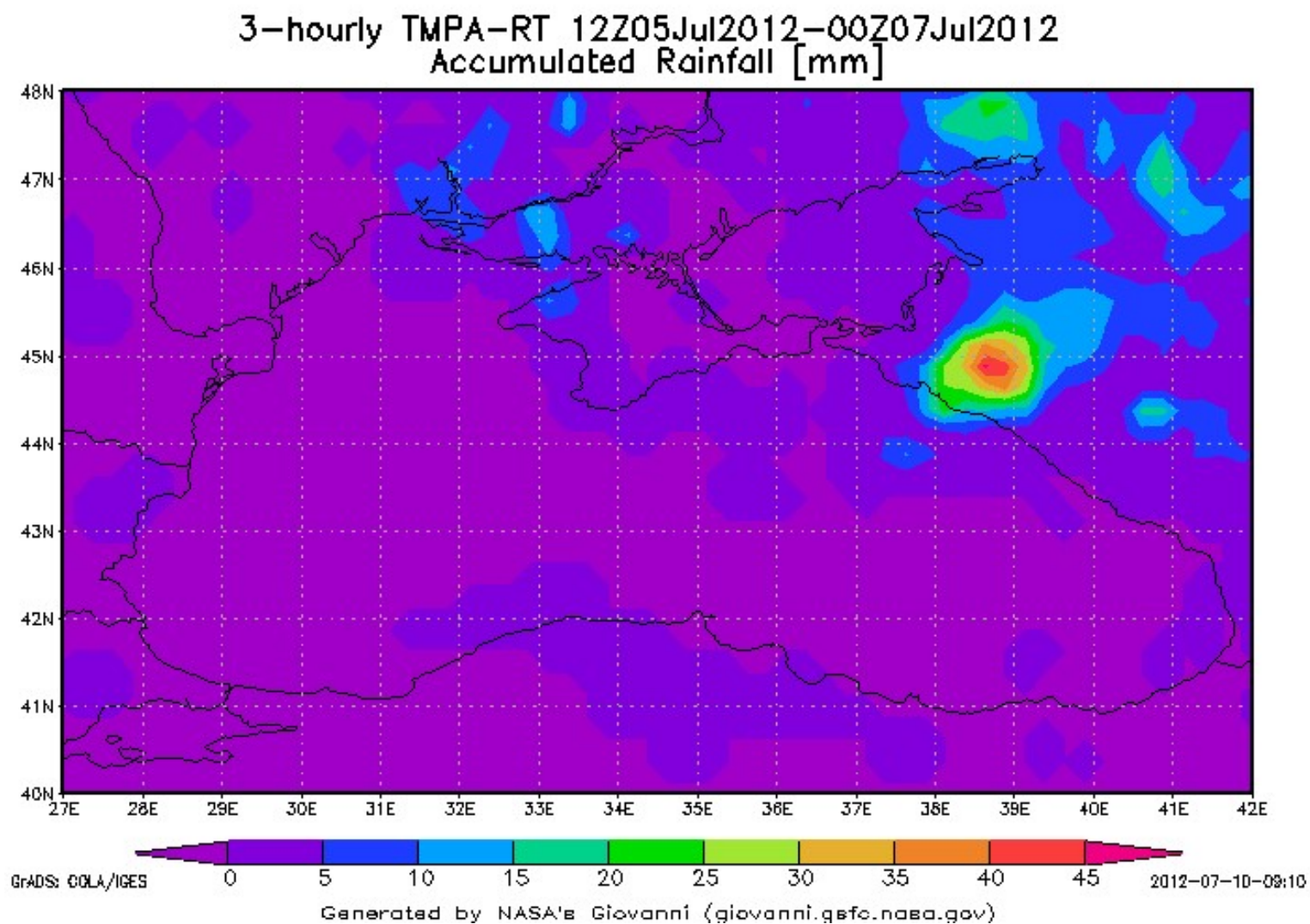


Красная волнистая – температура воздуха, **прямая** – среднемноголетняя температура воздуха, **черная сплошная** – температура воды, **черный пунктир** – скорость порывов ветра, **синяя** – кол-во суточных осадков

Спутниковое изображение атмосферного циклона с центром над Азовским морем, явившегося причиной мощного выпадения осадков 6-7 июля 2012 г.



Карта выпадения осадков 5-7 июля 2012



ЮО ИОРАН во время наводнения 6 июля 2012 г.



ЮО ИОРАН во время наводнения 6 июля 2012 г.



ЮО ИОРАН во время наводнения 6 июля 2012 г.



Устье р. Ашамбы после наводнения



Вдольбереговая струя мутных (окрашенная малиновым цветом), опресненных речным стоком вод на спутниковом снимке от 9 июля 2012 г.

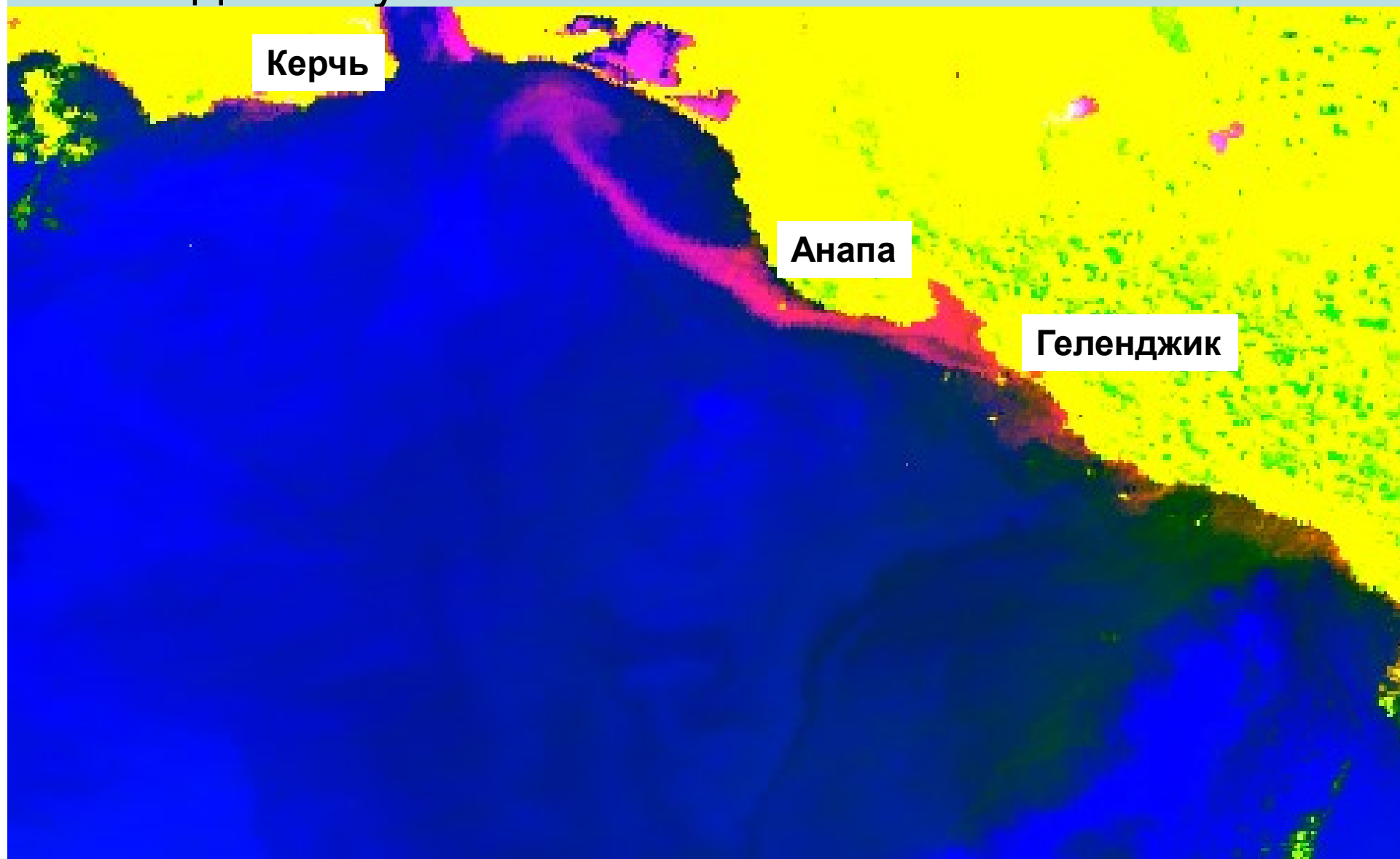
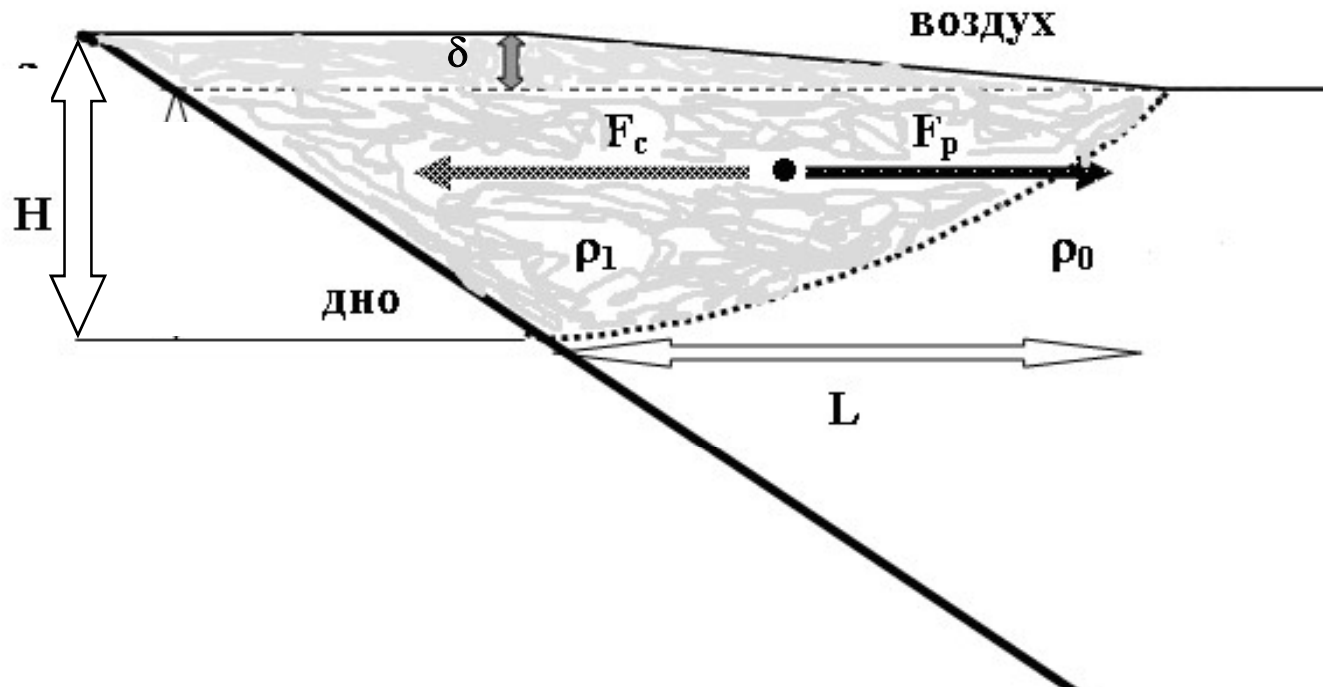


Схема формирования вдольберегового течения в опресненной стоком прибрежной линзе

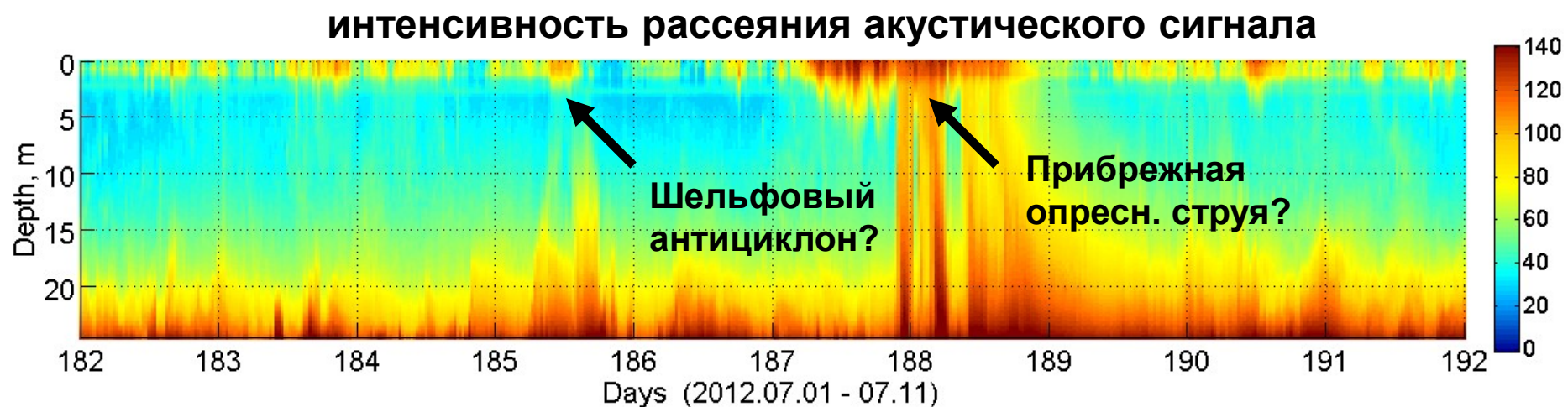
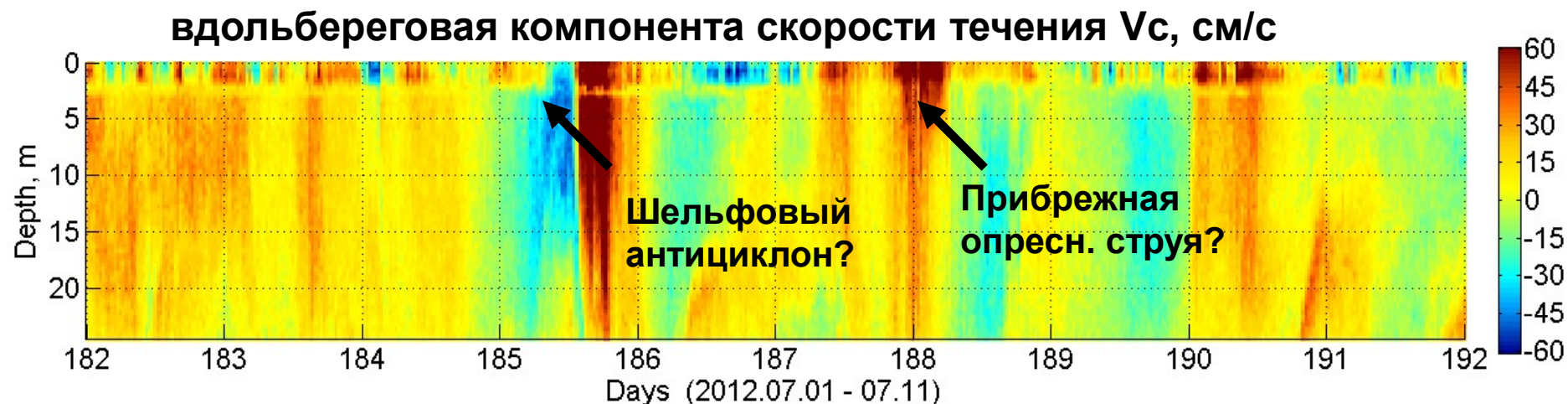


$V = \Delta\rho gH/(\rho_1 fL) \approx 40\text{-}50 \text{ см/с}$ — скорость вдольберегового течения

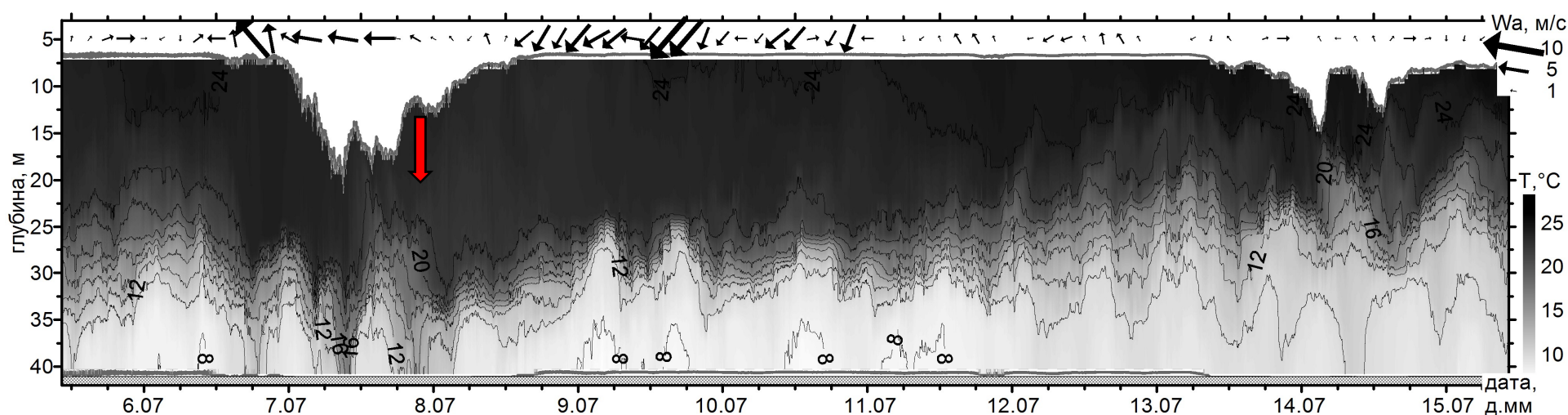
$\Delta S = \Delta\rho/\beta\rho_1 = VfL/\beta gH \approx 2.2\text{-}2.7 \text{ psu}$ — “динамическая” оценка опреснения

$\Delta S = h_r L_r S_0/0.5LH \approx 1.0 \text{ psu}$ — “объемная” оценка

Данные измерений донной станции ADCP Nortek AWAC в период 01-11.07.2012

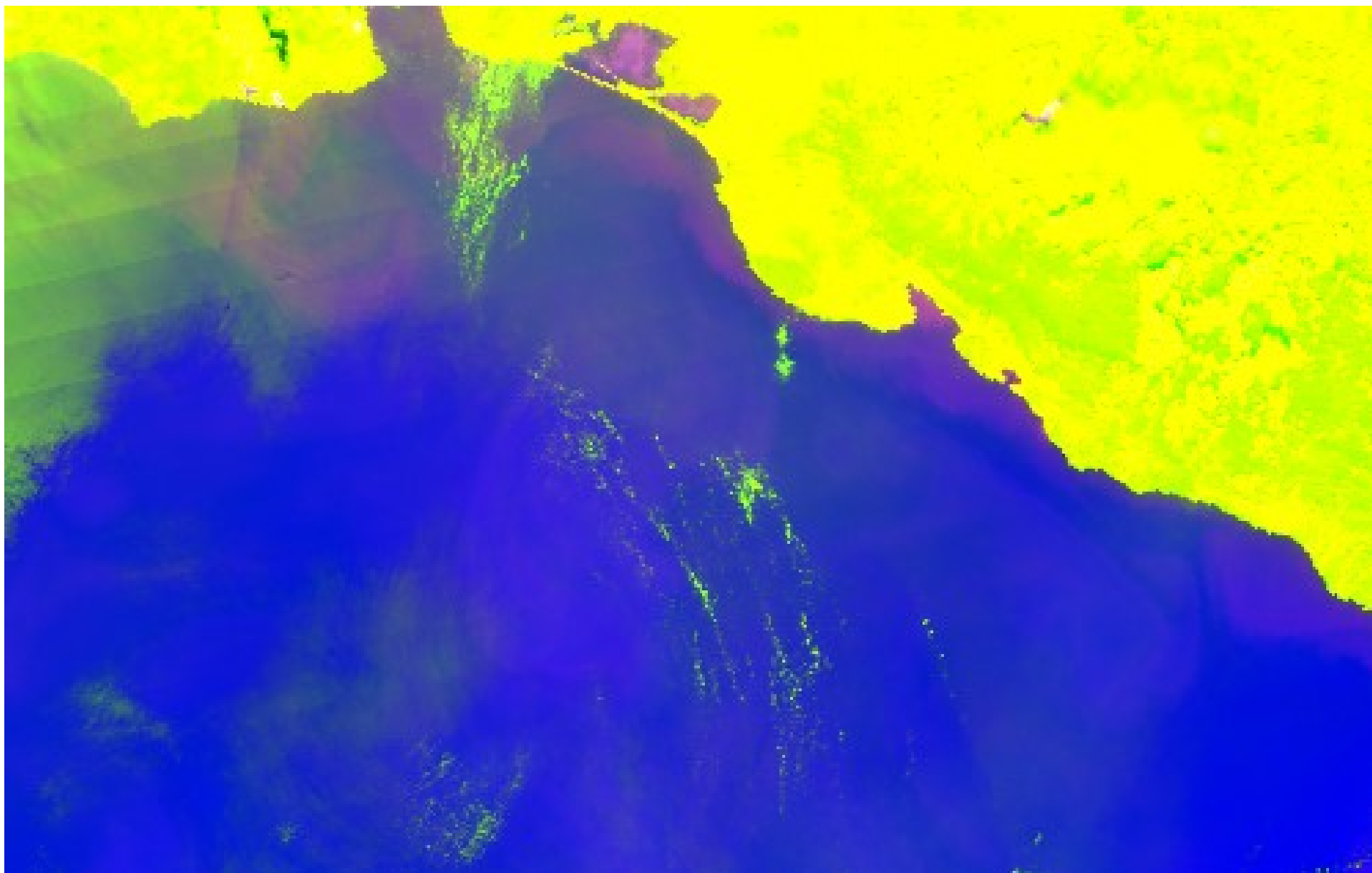


Временная изменчивость вертикального распределения температуры воды и скорости ветра (по данным измерения термокосы и метеостанции г. Геленджика)

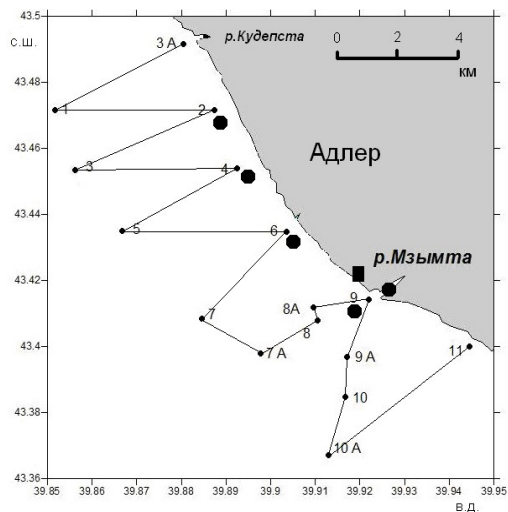


Тонкие линии – изотермы, Оттенки серого - градации температуры в соответствии со шкалой (справа). Стрелки указывают направление скорости ветра, их длина и толщина – силу ветра в соответствии со шкалой (справа).

Изменение ситуации к 12 июля 2012 г.



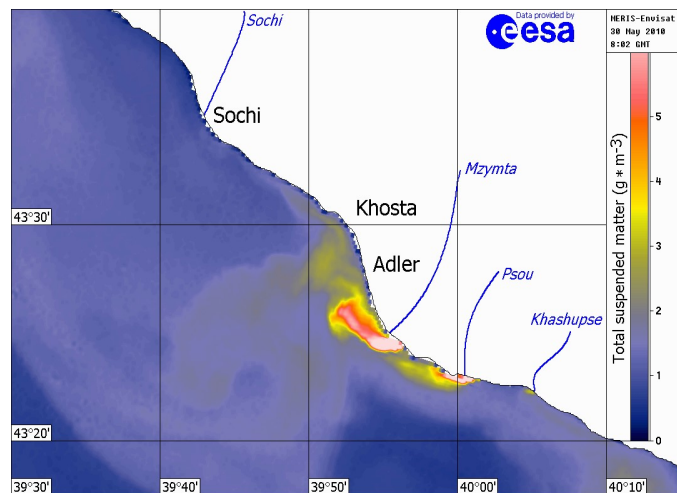
Изучение процессов распространения, трансформации и перемешивания вод речного стока на черноморском шельфе



Пример организации полигона

- CTD-зондирования (Т,S,σ)
- роточная измерительная система (CTD, O₂,pH)
- Ф лидар (взвесь, РОВ, хлорофилл)
- аякоренные станции (скорость течений – поверхность, дно)
- змеритель скорости в русле реки
- ортативные метеостанции (ветер, основные метеозлементы)
- гидрохимия (pH, O₂, фосфаты, силикаты, нитриты, нитраты, Alk, аммоний, металлы)
- компоненты сестона (минеральная взвесь, детрит, фитопланктон)

Массив спутниковых изображений MERIS-Envisat

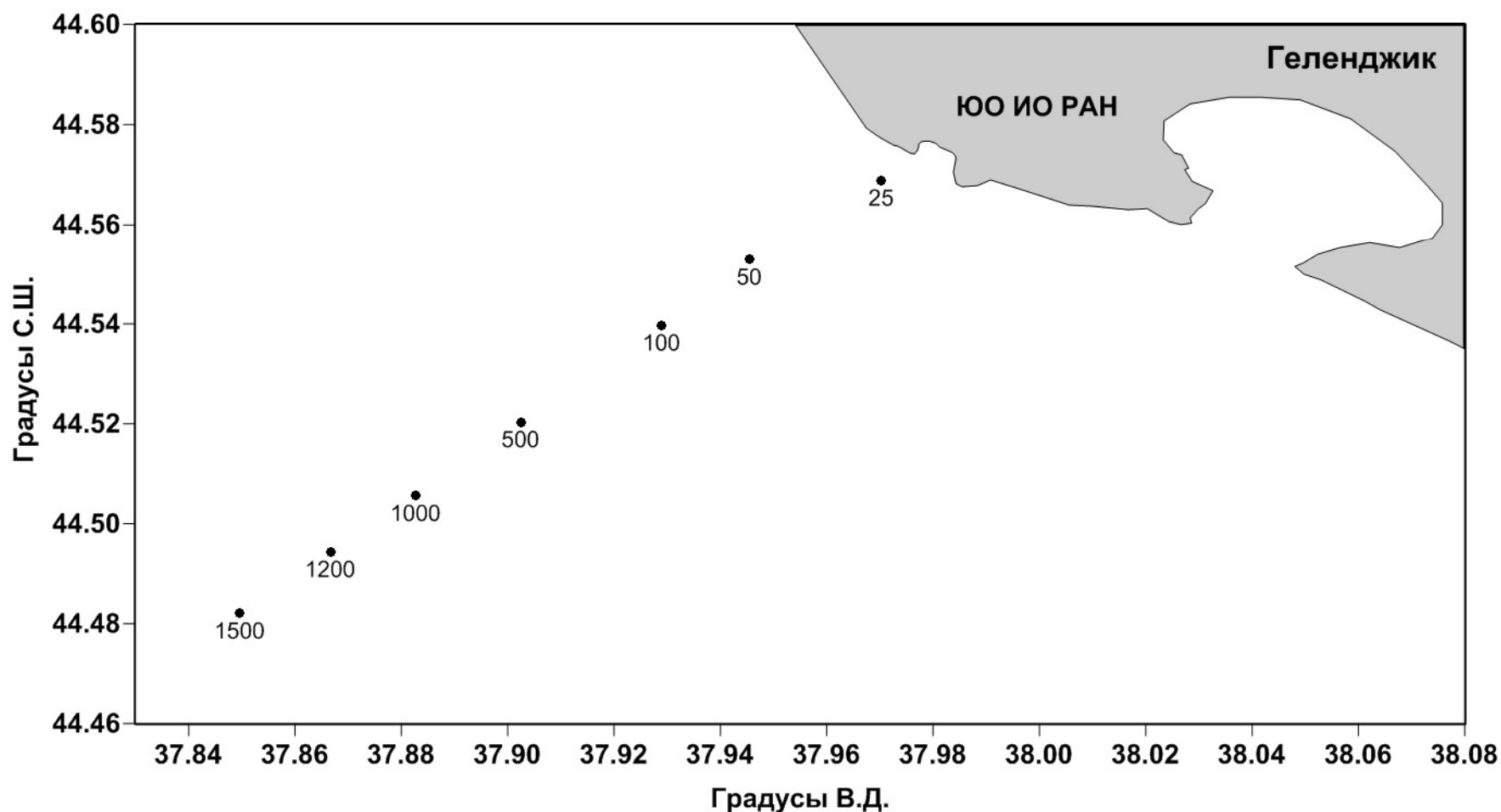


Плюм антропогенного загрязнения – концентрация растворенной органики у устья р. Битха (Сочи)



**Межгодовая изменчивость
сезонного опреснения ВКС в
шельфово-склоновой зоне моря
по данным судового мониторинга**

Станции (точки) мониторинга состояния прибрежной черноморской морской экосистемы на 9-мильном судовом разрезе на траверзе Голубой бухты. Числами указана глубина места в точке каждой станции. С мая по сентябрь разрез выполняется приблизительно 2 раза в месяц

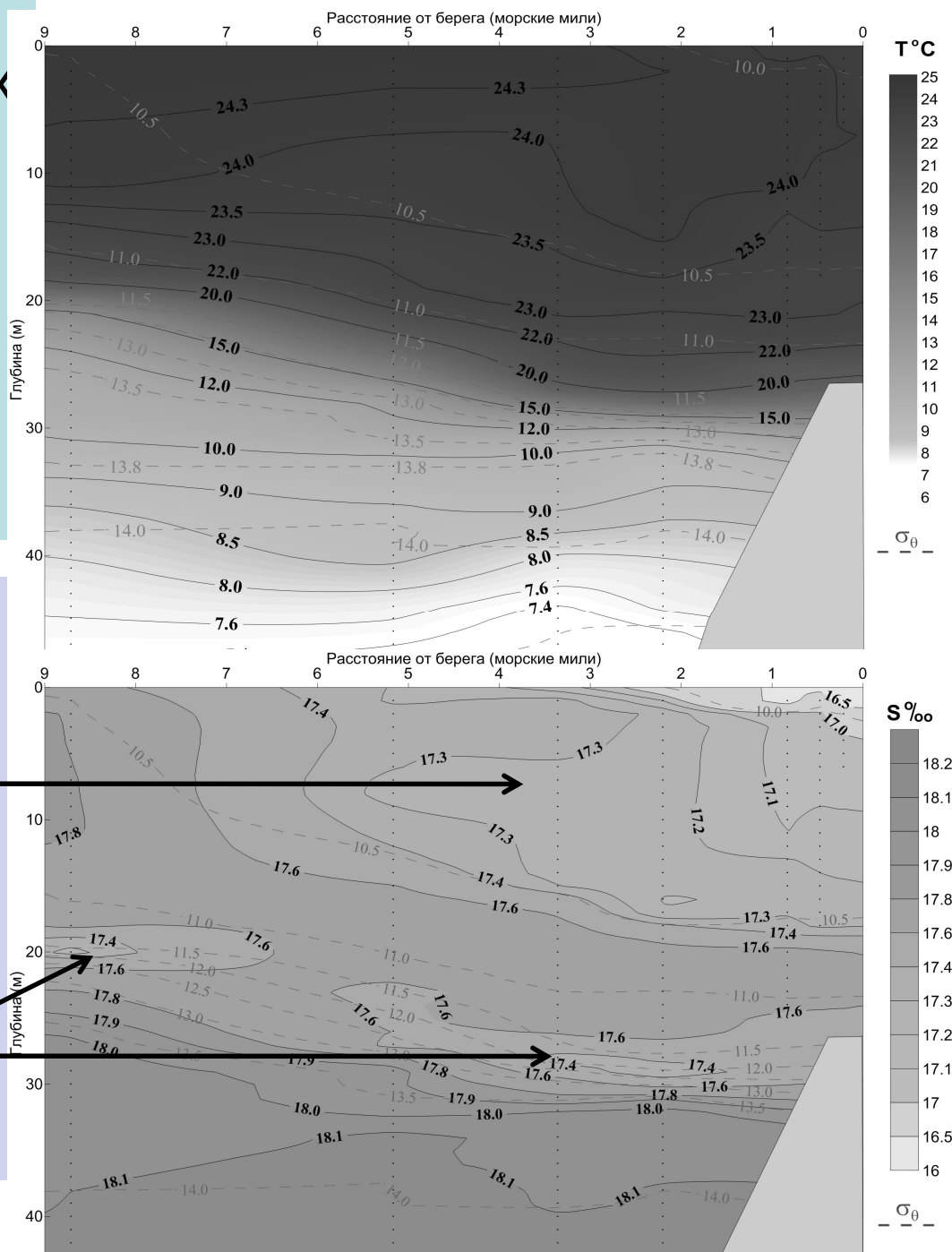


Пример мониторингового разреза «Ашамбы» в полях температуры и солёности.

11 июля 2012 г.

Вверху: температура.

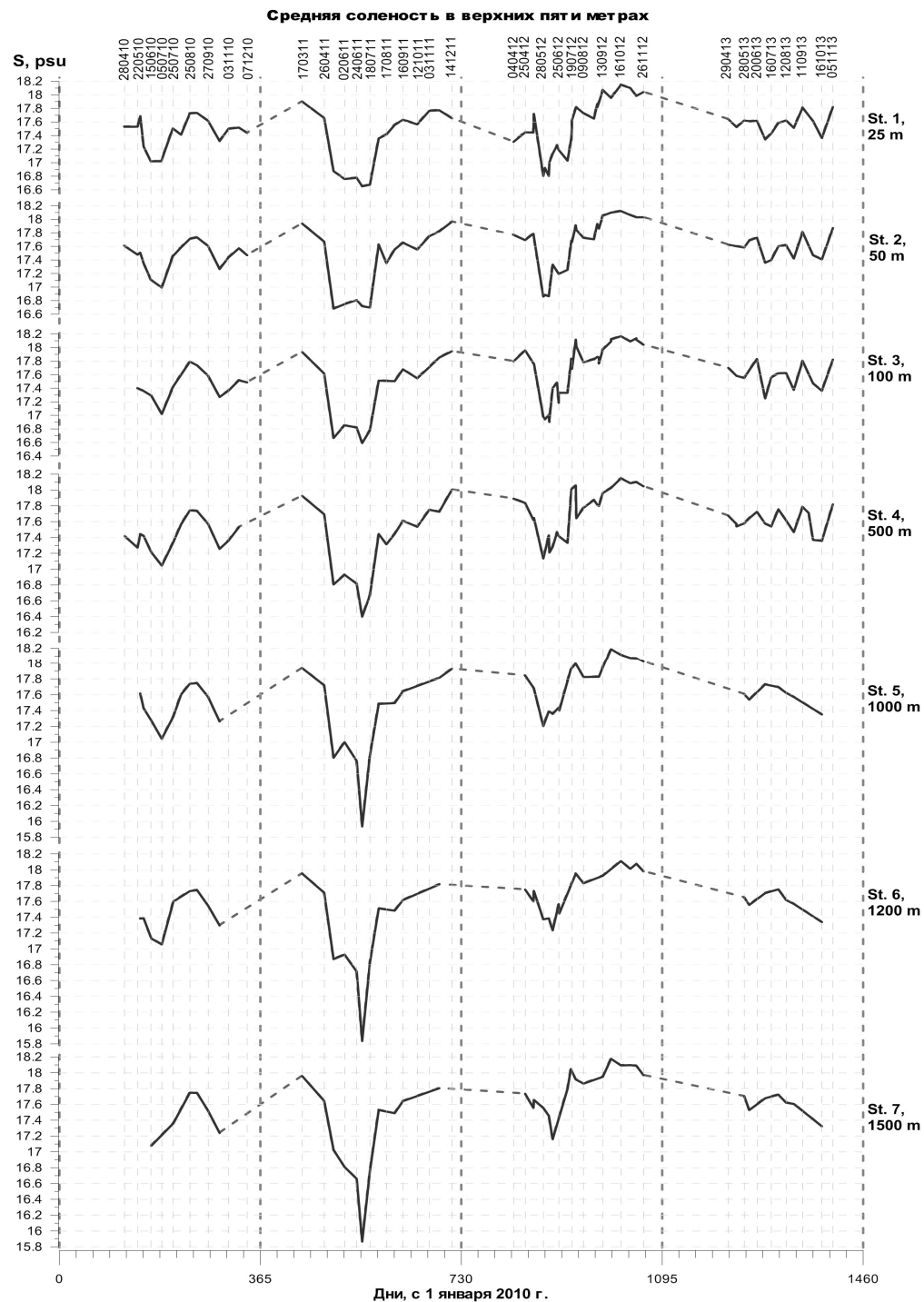
Внизу: солёность.



Виден слой опресненных вод, толщиной 16-18 м у берега и выклинивающийся к поверхности моря на расстоянии 6-8 миль от берега. Солёность вод в этом слое составляет 17.0 - 17.4 psu, что на 0.4 – 0.8 psu меньше, чем с мористой стороны.

В области термоклина на глубине 20-28 м видны «следы» опреснения (инверсия по солёности), возникшие, вероятно, в период максимального опреснения

Средние значения
солености верхнего 5-
ти метрового слоя на
семи мониторинговых
станциях (глубины 25,
50, 100, 500, 1000, 1200
и 1500 м) за весь
период наблюдений
(2010-2013 гг). За нуль
по оси абсцисс принто
начало 2010 г.,
пунктиром обозначены
переходы к следующим
годам



Спасибо за внимание!

