

# Динамические структуры северо-западной части Японского моря по спутниковым данным и термохалинные аномалии в подповерхностных водах по измерениям автономного профилографа "Аквалог"

Трусенкова О.О.<sup>1</sup>, Островский А.Г.<sup>2</sup>,  
Дубина В.А.<sup>1</sup>, Ладыченко С.Ю.<sup>1</sup>,  
Лазарюк А.Ю.<sup>1</sup>, Лобанов В.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН  
<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

*16-я Всероссийская Открытая конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ  
ИЗ КОСМОСА, 12 - 16 ноября 2018 г. Москва*

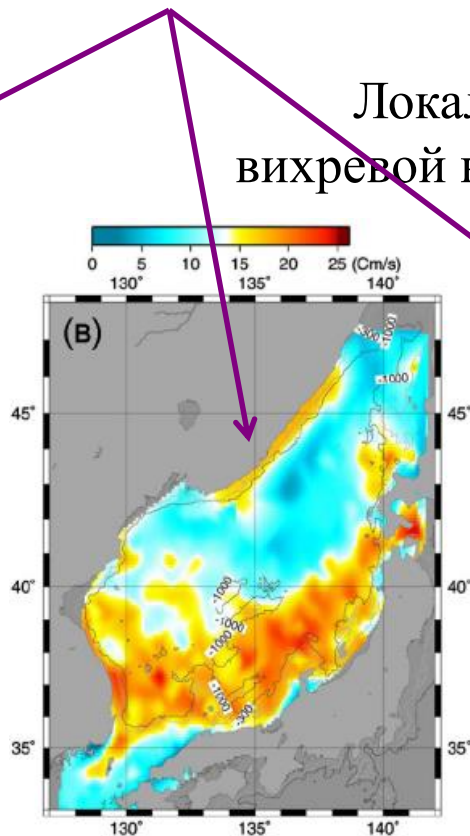
# Введение: синоптическая динамика в зоне Приморского течения Японского моря

Перемещение динамических структур с течением: склоновые вихри



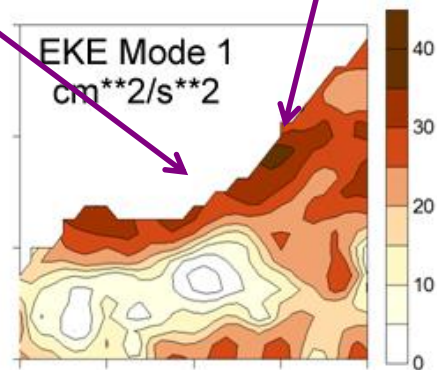
Перенос теплых вод с юга и востока

Зона Приморского течения



По дрейфтерам ARGOS (Lee, Niiler, 2005)

Локальный максимум вихревой кинетической энергии

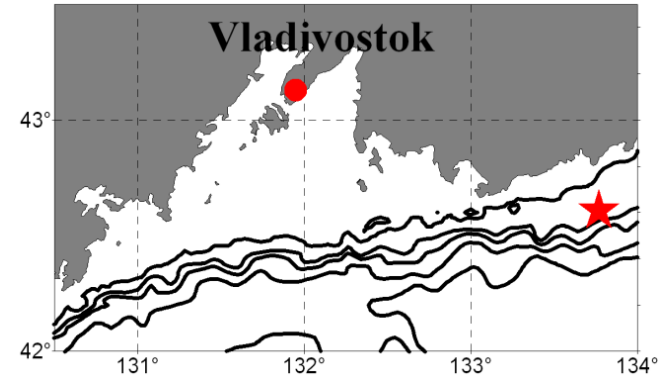


Спутниковая альтиметрия, AVISO, 1993-2015 (Трусенкова, 2014)

Измерения с помощью профилографа «Аквалог» позволили получить уникальные данные о гидрологических характеристиках в этом динамически активном районе (с середины апреля – по середину октября 2015 г.) в слое **от 64 м вниз** (под сезонным пикноклином субарктической структуры вод).

Вертикальные движения в пикноклине (по колебаниям изопикнической поверхности  $27.15 \text{ кг/м}^3$ ) с периодами 2–3.5, 8–13, 18–22 сут., 1 мес.

*Измерения в точке, а структуры, динамика вод? → нужны спутниковые данные!*



Место установки «Аквалога»:  $42.5^\circ$  с.ш.,  $133.8^\circ$  в.д., глубина: **440 м.**

Изменчивость кинетической энергии с периодами 50–80, 20–30, 10–20, 2–7 сут. и  $< 1$  сут.

## Цель работы

Соотнесение термохалинных аномалий по данным «Аквалога» с динамическими структурами, зарегистрированными на спутниковых изображениях СЗ части Японского моря.

# Спутниковые данные

## *ИК-изображения:*

- AVHRR/NOAA с разрешением 1 км

(из архива Центра регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН; <http://satellite.dvo.ru/>),

- VIIRS/Suomi-NPP, с разрешением 375 м  
(<https://www.bou.class.noaa.gov/saa/products/welcome>).

## *Видимые изображения:*

- поля хлорофилла-а, GOCI/COMS с разрешением 500 м  
(<http://www.ioccg.org/sensors/GOCI.html>).

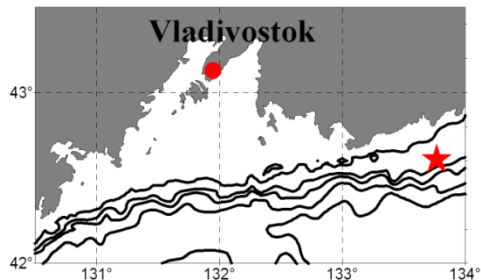
(трассеры, проблема строго разделения вкладов биогенных и абиогенных факторов не обсуждается).

*Апрель – октябрь 2015 г.:* часто повторялась облачность, особенно в июле и августе.

Все же удалось найти ряд изображений для соотнесения с данными «Аквалога».



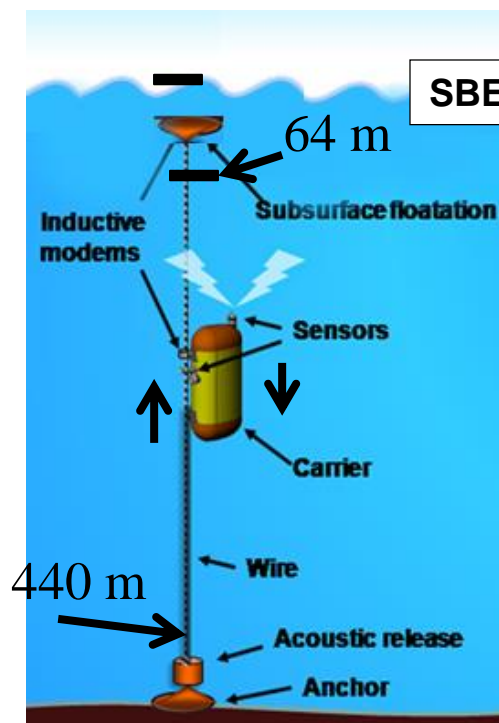
# Автономный сканирующий профилограф «Аквалог» ([www.aqualog.pro](http://www.aqualog.pro))



SBE CTD 52MP



Nortek ACM Aquadopp



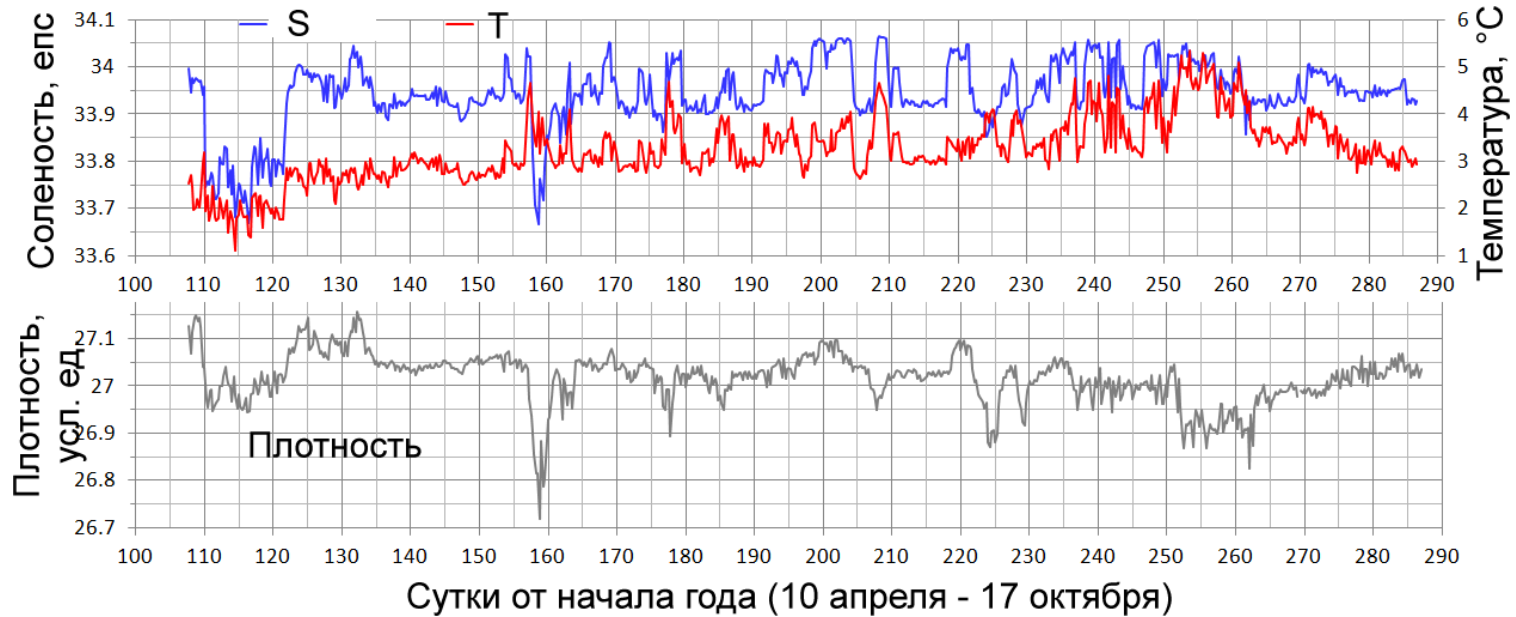
Измерения в период с 18 апреля по 14 октября 2015 г., глубина места 440 м.

*Рассматриваемые параметры:*  
температура, соленость и плотность, осредненные в слое 64–70 м, 4 раза в сутки (в верхнем слое измерений «Аквалога», но уже в промежуточных водах субарктической структуры под сезонным пикноклином).

(Островский и др., 2013)

Конфигурация профилографа, инструменты, первичная обработка и коррекция данных подробно обсуждаются в работе (Лазарюк и др., 2017).

# Температура, соленость и плотность в слое 64–70 м



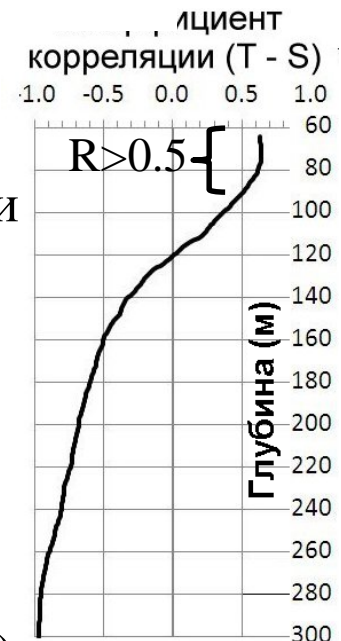
Под сезонным пикноклином субарктической структуры вод.

Средние:  $3.25 \pm 0.67^\circ\text{C}$ ,  $33.944 \pm 0.07$  епс.  $27.02 \pm 0.05$  усл. ед.

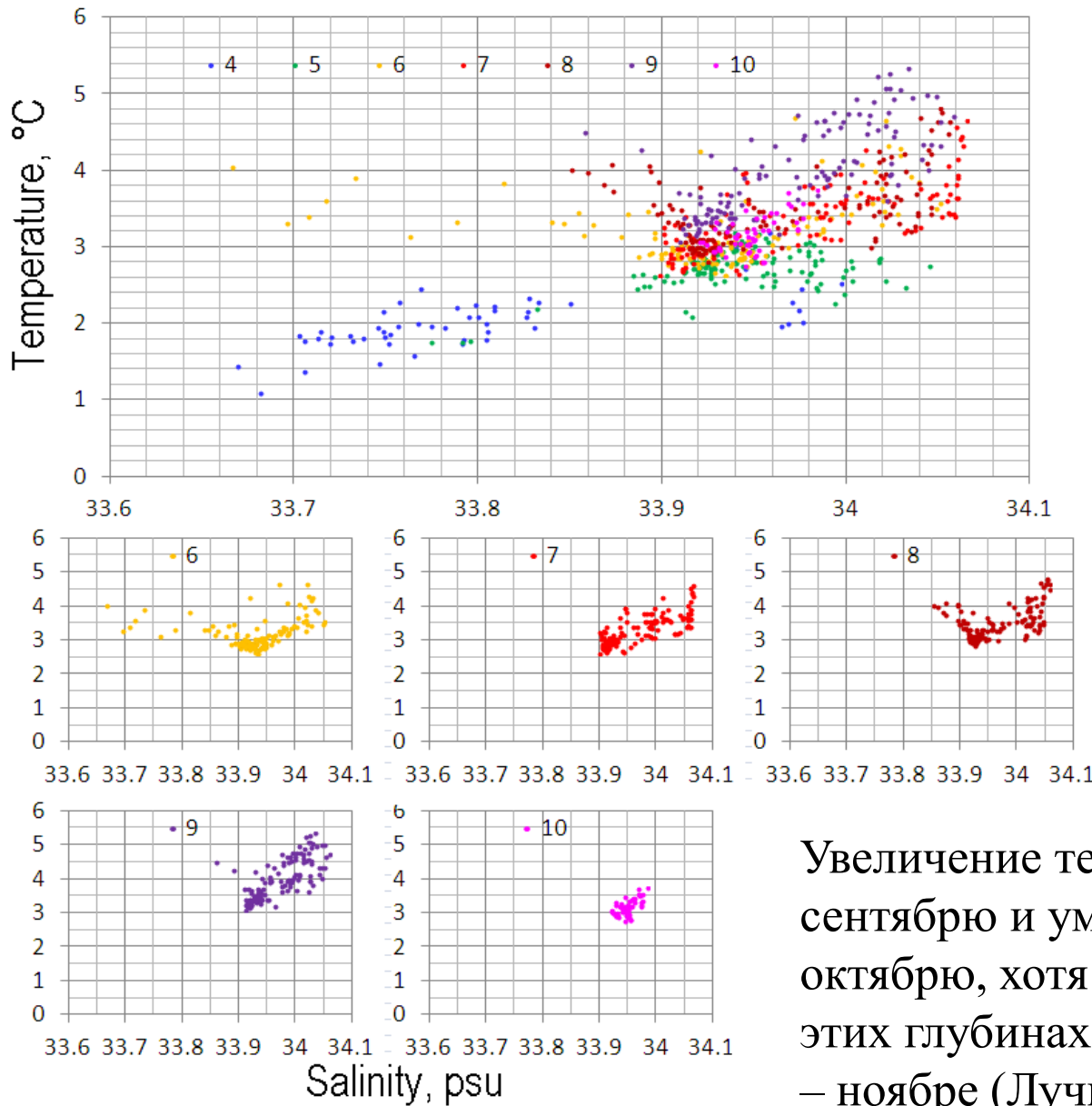
Зарегистрированные аномалии существенно превышают ошибки ( $0.002^\circ\text{C}$  по T и  $0.003$  епс по S; Лазарюк и др., 2017).

Статистическая взаимосвязь:  $R_{(T-S)} = 0.63 \rightarrow$  интрузии теплых и осолоненных или холодных и распресненных вод (иногда зависимость нарушается, а с начала октября между T и S взаимосвязи нет).

Ниже 100 м эта зависимость уже не наблюдается, ниже 150 м зависимость обратная (за счет вертикальных смещений изопикн).



# T,S-диаграммы (64–70 м)



Месяцы:

4 – апрель,

5 – май,

6 – июнь,

7 – июль,

8 – август,

9 – сентябрь,

10 – октябрь.

Увеличение температуры от апреля к сентябрю и уменьшение от сентября к октябрю, хотя сезонный максимум на этих глубинах достигается в октябре – ноябре (Лучин и др., 2003).



# Термохалинные аномалии с 21 апреля по 1 мая (111 – 121 сут. года)



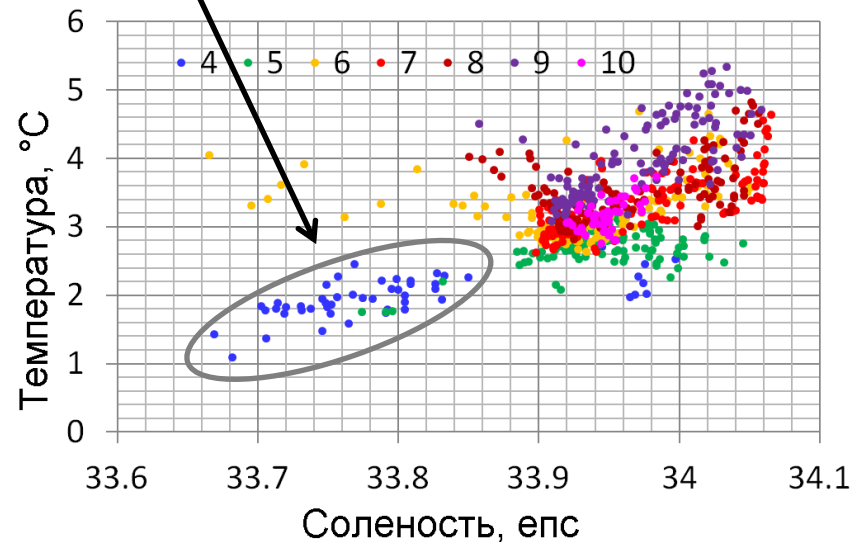
Средние величины за 111–121 сут.:

T: 1.92 °C, S: 33.768 eps,

плотность: 26.99 кг/м<sup>3</sup>.

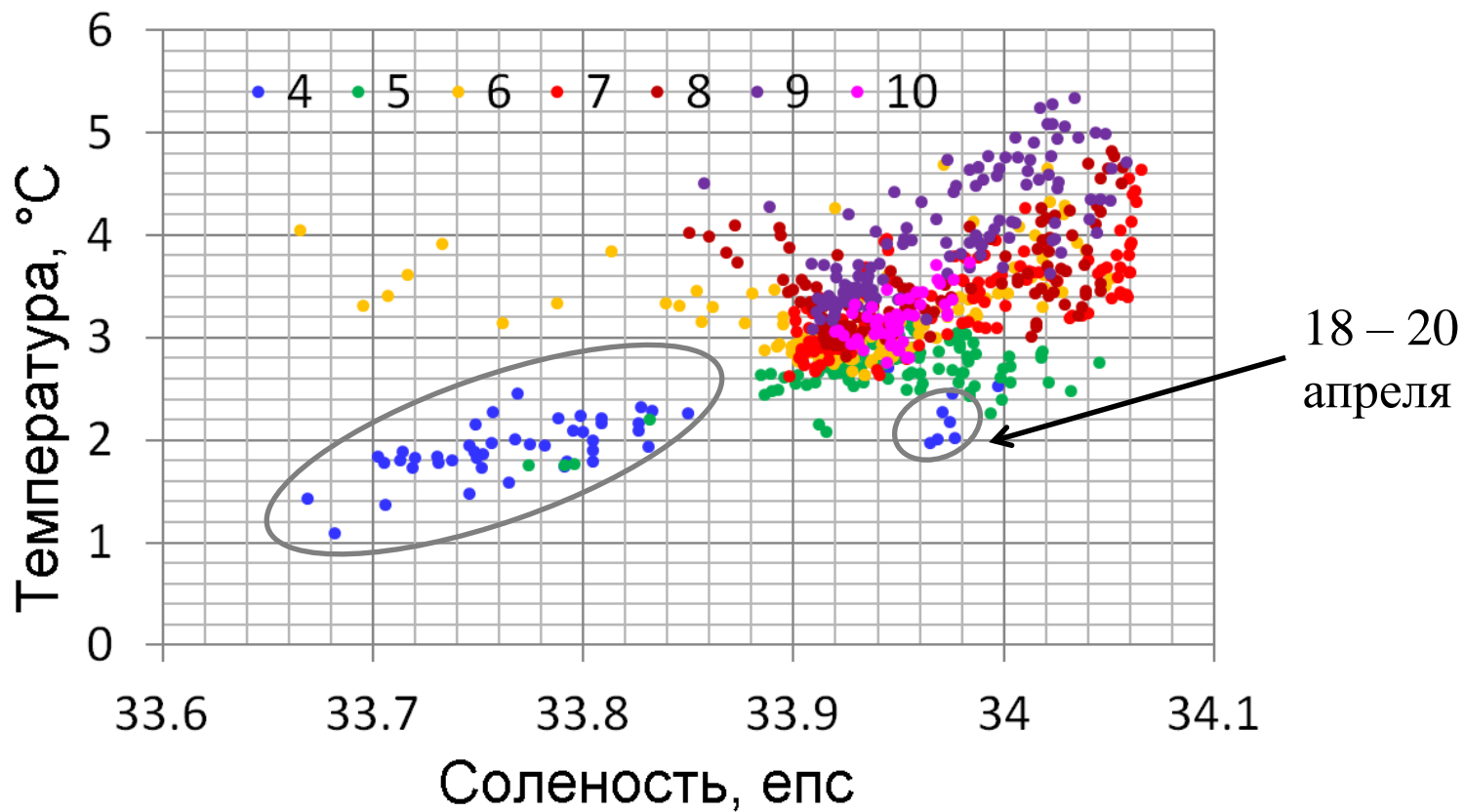
Температура в слое 64–70 м ниже, чем на 150–200 м, а в отдельные дни ниже, чем на 250 м.

Компактный кластер на T,S-диаграмме.



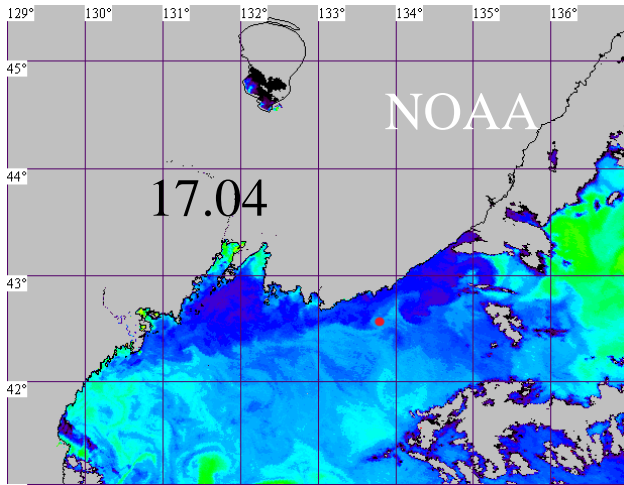
Увеличение T, S и плотности скачком  
2 мая – необъяснимо сезонным  
прогревом!

2 – 31 мая T изменяется незначительно.

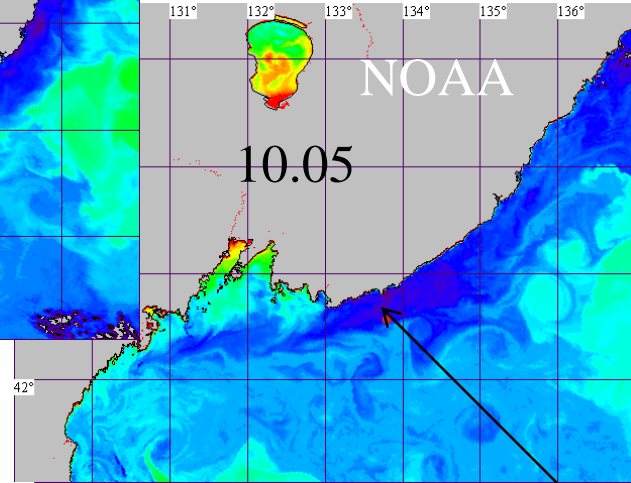
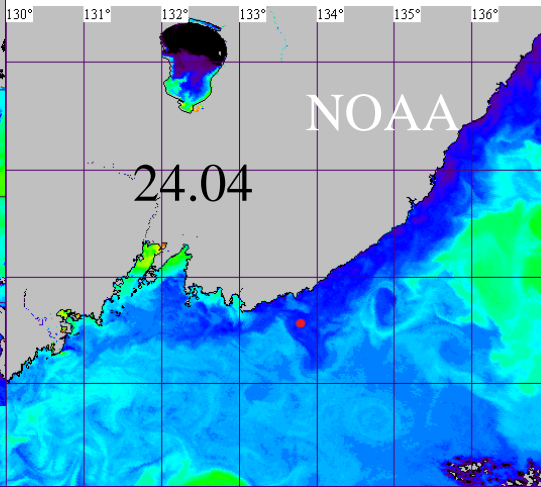


В другие месяцы подобных вод не наблюдалось.

# Интрузии вод Приморского течения



Синим – холодные,  
красным – теплые воды.



«Аквалог»

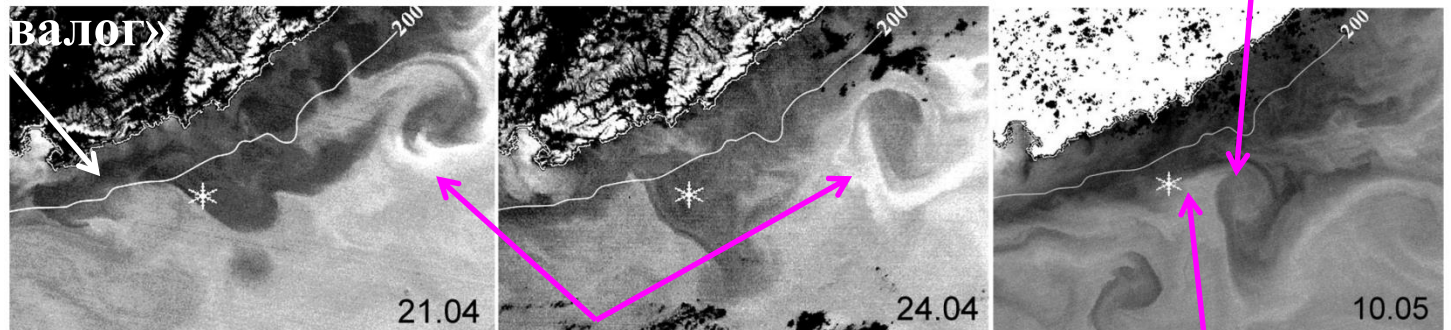
Отход вод Приморского течения  
от берега и формирование фронта.

Сдвиг фронта сначала на ЮЗ, потом на СВ.

Взаимодействие вихря с фронтом.

Темным –  
холодные,  
светлым –  
теплые  
воды.

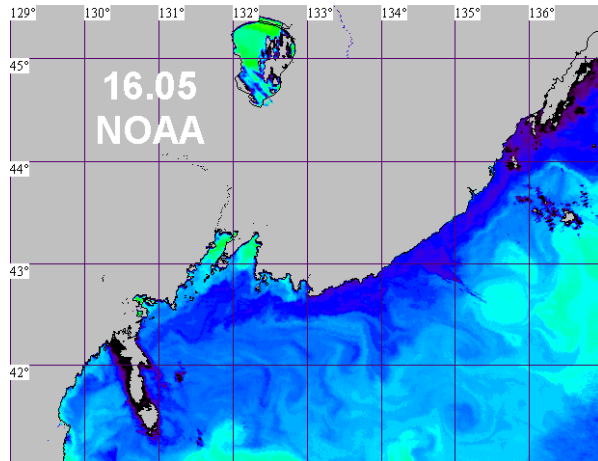
Suomi/NPP



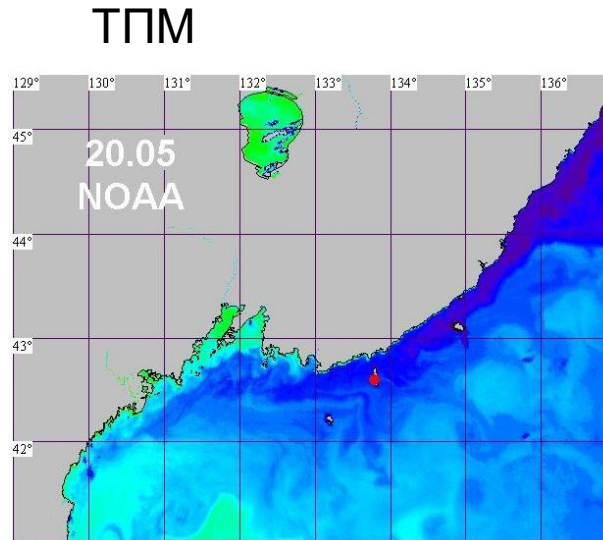
Перемещение вихря на запад.

Клин теплых вод.

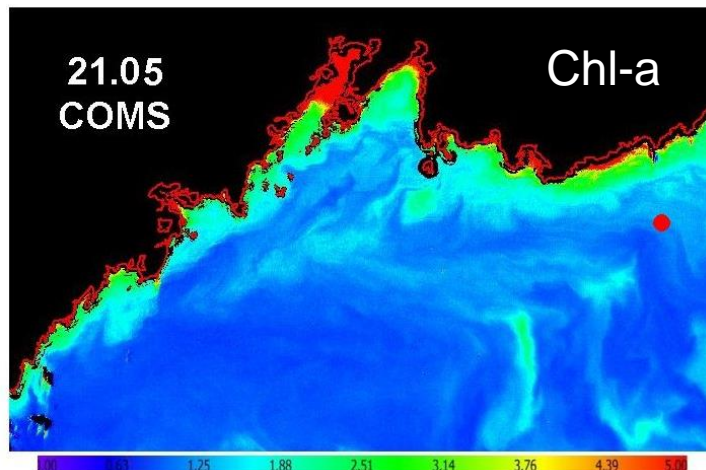
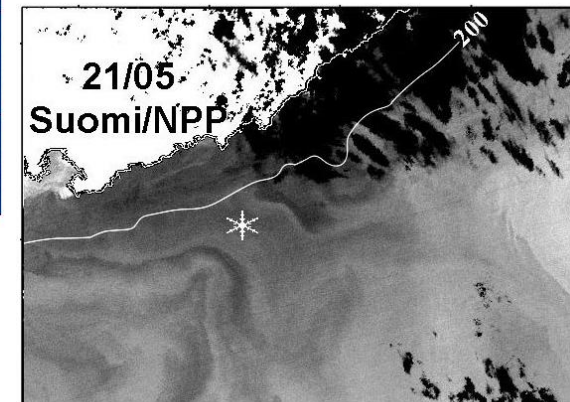
# Клиновидная структура в результате неустойчивости



Синим – холодные,  
зеленым – теплые воды.

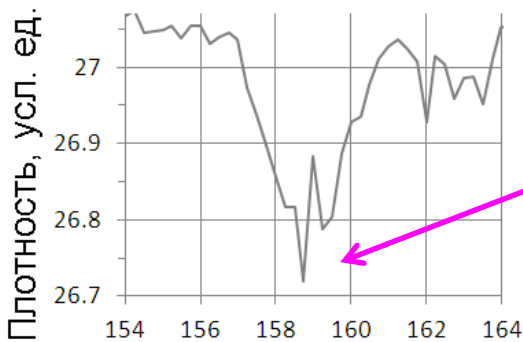
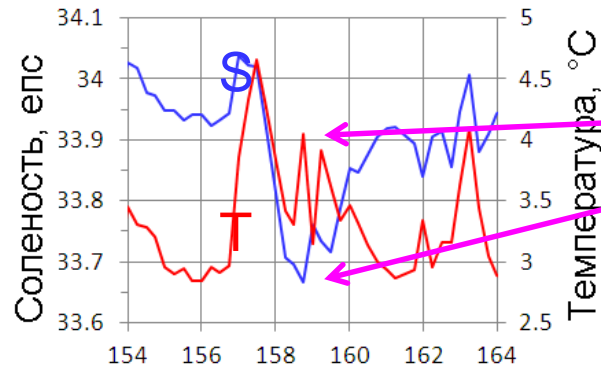


Темным – холодные,  
светлым – теплые воды.

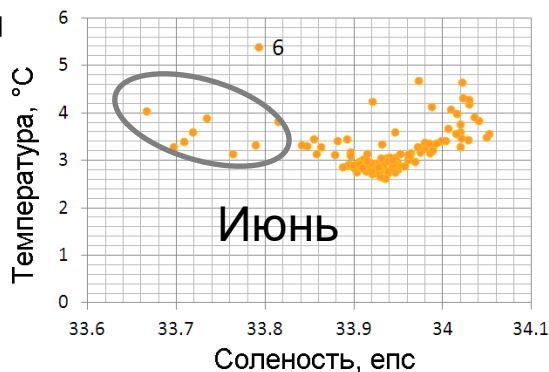


Клин чередующихся струй теплых и  
холодных вод как в ТПМ, так и в  
распределении хлорофилла-а

# Теплые распресненные воды 7–8 июня (158–159 сут. от начала года)

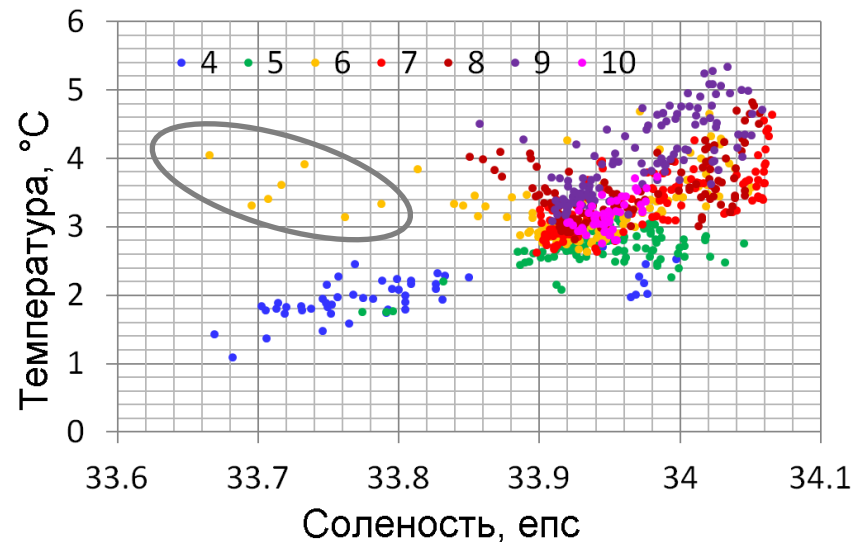


Сутки



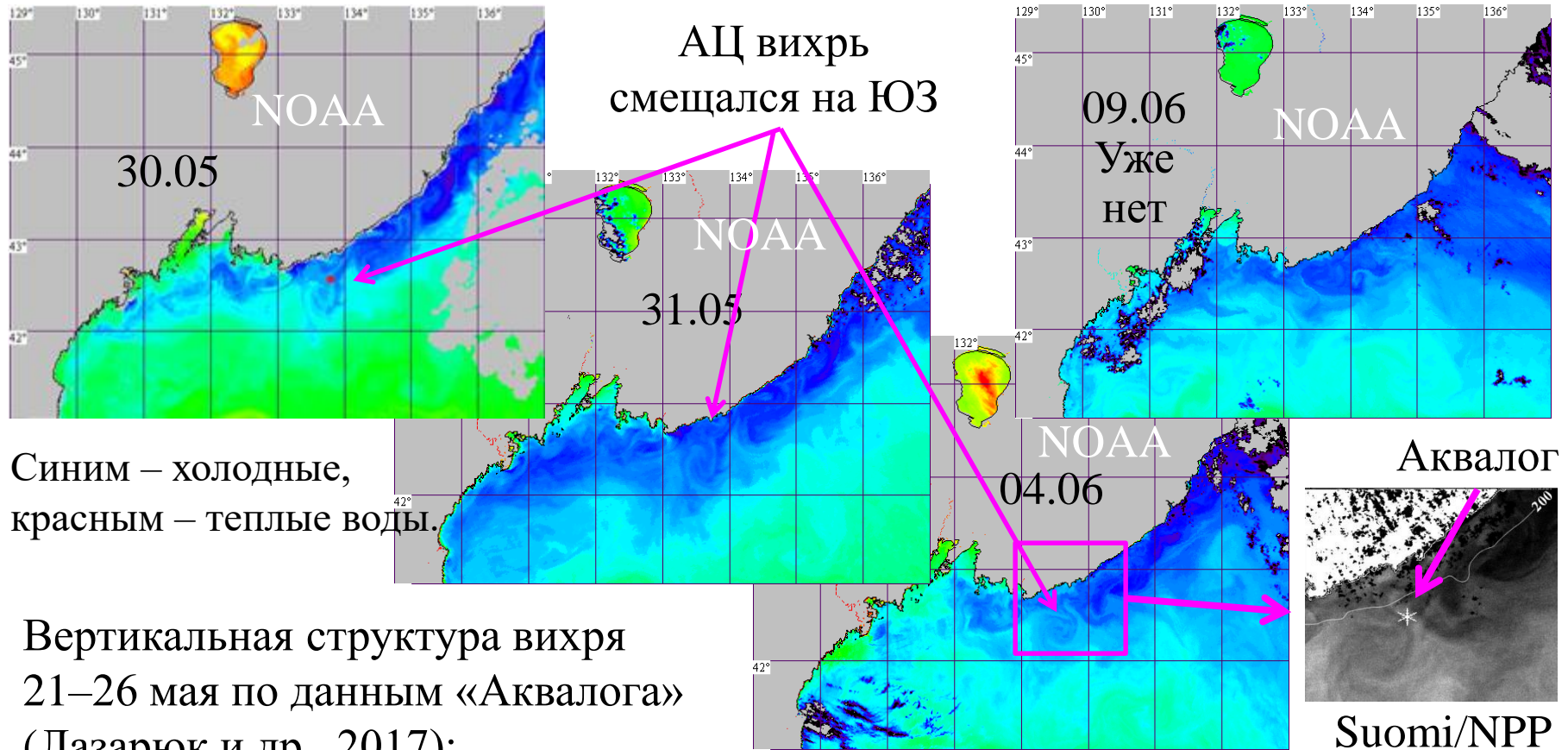
Повышенная температура (3.5–4.0 °C),  
значительно пониженная соленость (33.713 епс;  
абс. мин. за весь период) и плотность (26.87 усл.  
ед.; абс. мин. за весь период).

Кластер теплых распресненных вод только в  
июне.





# Появление теплых распресненных вод в начале июня: перенос прибрежных вод в сторону открытого моря

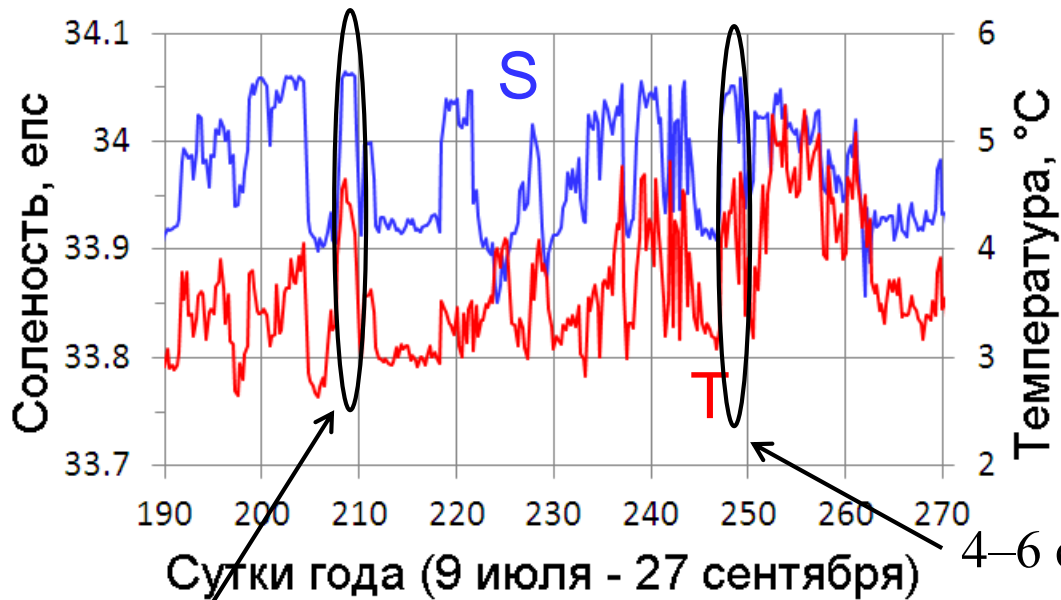


Синим – холодные,  
красным – теплые воды.

Вертикальная структура вихря  
21–26 мая по данным «Аквалога»  
(Лазарюк и др., 2017):  
размер: 60–80 км, скорость: 6–9 см/с.

Вынос прибрежных вод в сторону открытого моря  
по тыловой (восточной) периферии вихря.

# Согласованные положительные аномалии температуры и солёности (с июля до середины сентября)

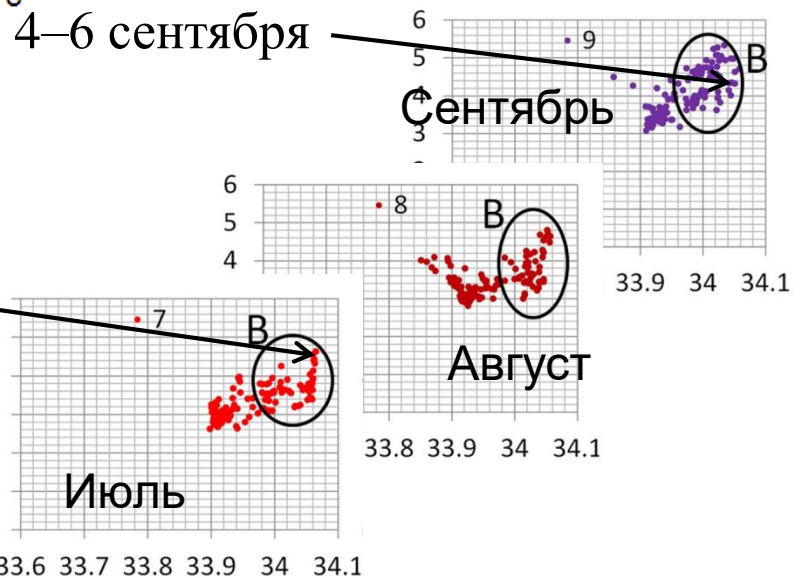


*Июль – август:*  
 $T = 3.5\text{--}4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $S > 34\text{ епс}$ .

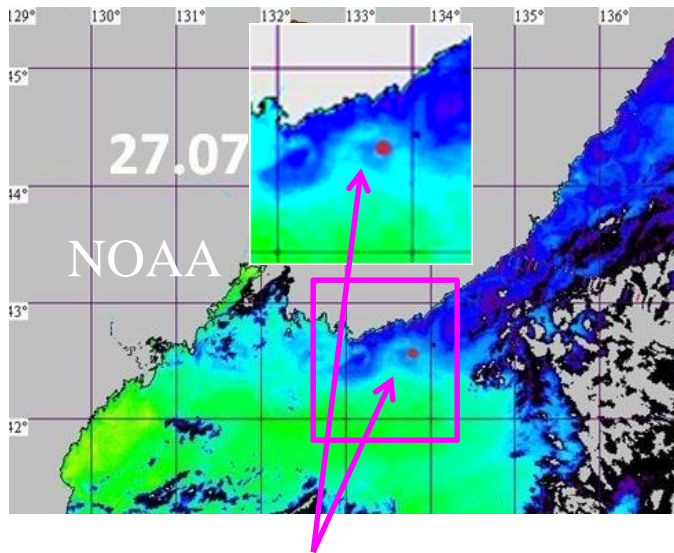
*Сентябрь:*  
 $T = 3.5\text{--}5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $S > 34\text{ епс}$ .

27–28 июля

Повышенные температура и солёность ( $> 34\text{ епс}$ ) указывает на происхождение из южной части моря (трансформированные субтропические воды)

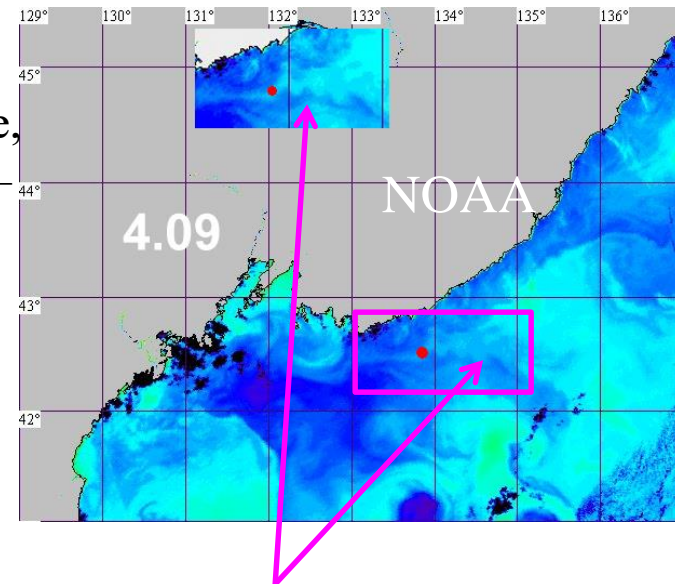


# Адвекция теплых вод к побережью Приморья на спутниковых изображениях (27 июля и 4 сентября)

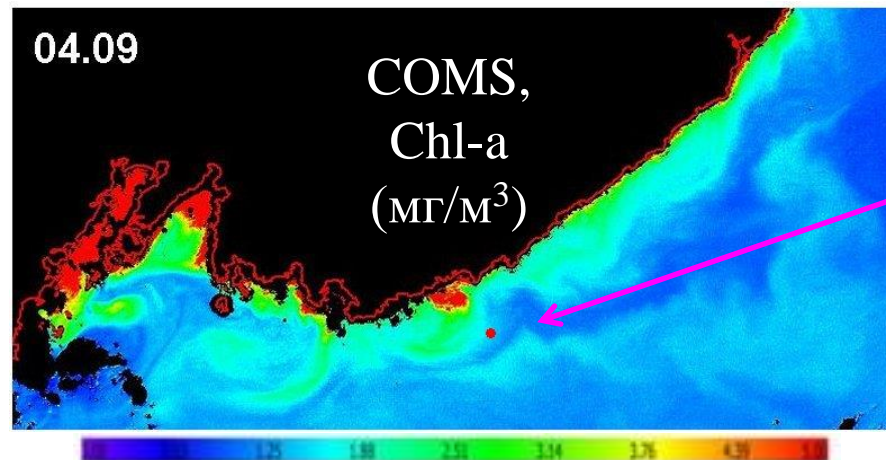


Струя, поступление теплых вод с юга

Синим —  
холодные,  
желтым —  
теплые  
воды.



Струя, поступление теплых вод с востока



Воды с востока:  
пониженная  
биопродуктивность.

# Адвекция теплых вод к побережью Приморья

Анализ затруднен плохими условиями наблюдения летом 2015 г.:

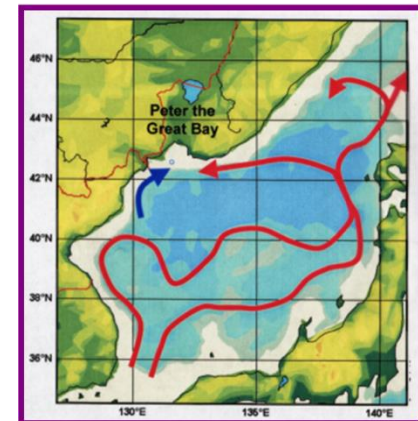
информативные снимки NOAA отсутствуют  
16.06–7.07, 9.07–26.07, 28.07–03.09, 08.09–02.10;

информативные снимки Suomi/NPP отсутствуют  
16.06–03.09, 08.09–02.10,

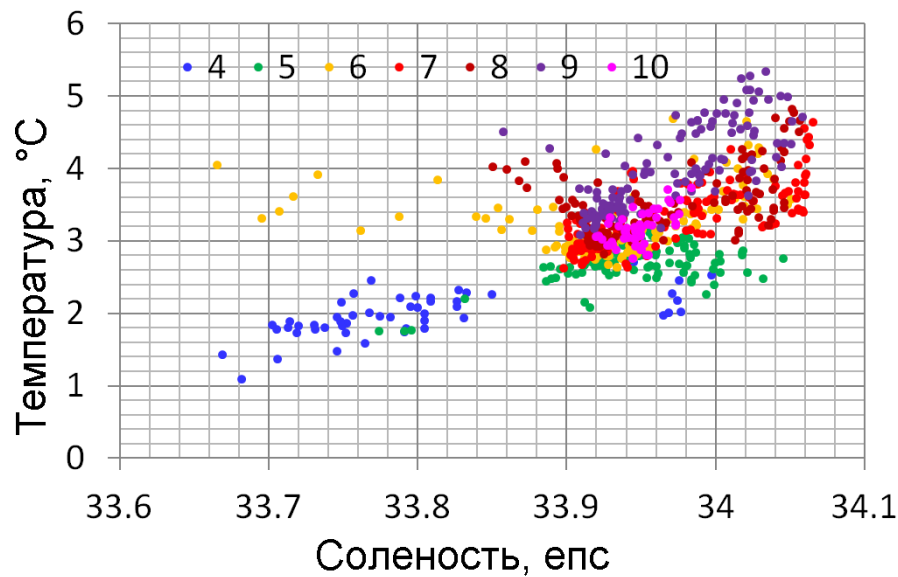
информативные снимки COMS отсутствуют 11.06–4.09.

Однако повышенная соленость ( $> 34.0$  епс) указывает на происхождение этих вод из южной части моря (трансформированные субтропические воды).

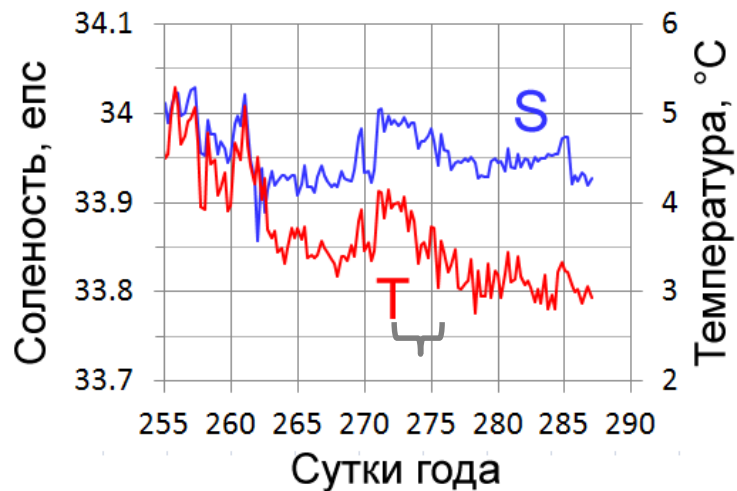
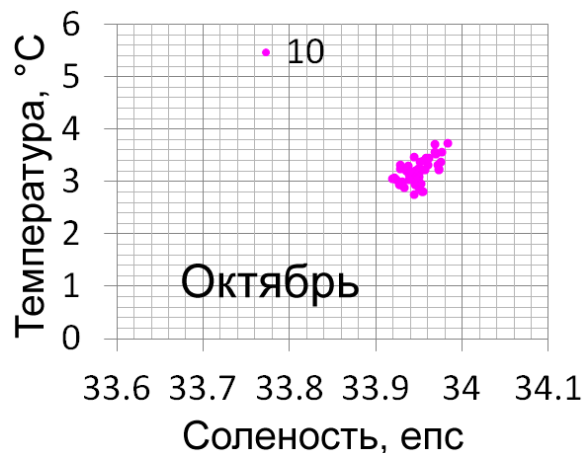
Об адвекции теплых вод с юга на север:  
Данченков и др., 2002; Лобанов и др., 2007;  
Никитин, Юрасов, 2008.



# Свойства поверхностных вод в октябре



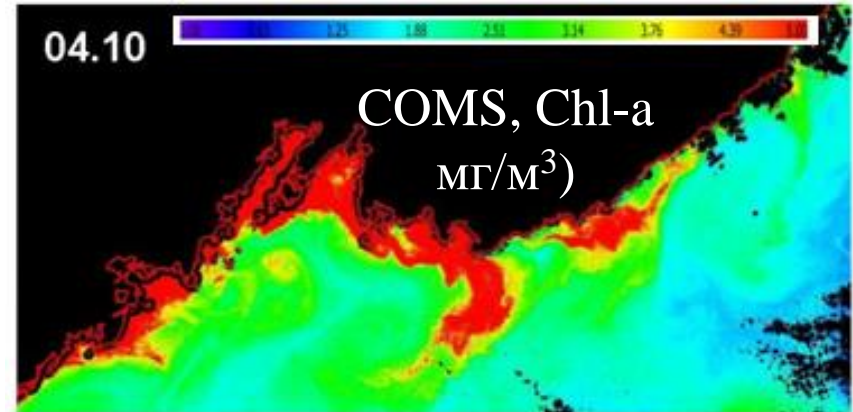
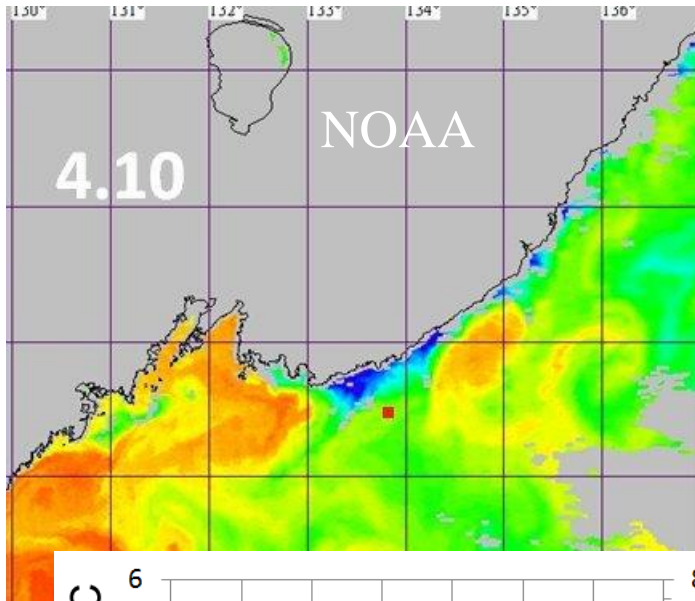
С 30 сентября по 3 октября (273 – 276 сут.): уменьшение температуры (от 4.1 °С до 3.1 °С); соленость изменяется слабо.



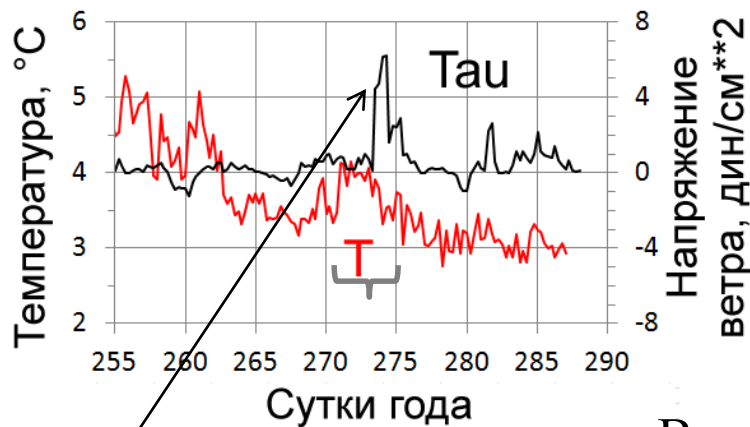
Сезонный максимум температуры: октябрь – ноябрь (Лучин и др., 2003).



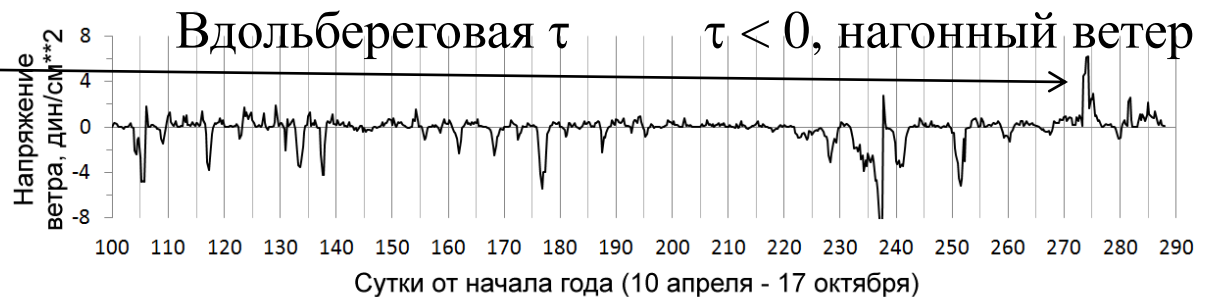
# Апвеллинг в октябре



В апреле – сентябре 2015 г. сильный ветер был нагонный (восточных румбов); воздействия ветра в вертикальных колебаниях изопикн не обнаружено.



30 сентября – 2 октября: циклон, значительное усиление ветра



$\tau > 0$ , сгонный ветер,  
 $\tau < 0$ , нагонный ветер



## Термохалинные индексы вод различного происхождения в слое 64–70 м

<i>Водная масса</i>	<i>Температура (°C)</i>	<i>Соленость (εnc)</i>
Воды Приморского течения (апрель)	1 – 2.5	33.67 – 33.85
Прибрежные воды (июнь)	3.0–4.0	33.67–33.82
Трансформированные субтропические воды (июль – август)	3.5–4.8	34.00–34.06
Трансформированные субтропические воды (сентябрь)	3.5–5.5	34.00–34.06
Воды апвеллинга (октябрь)	2.9–3.3	33.93–33.95

## Выводы

1. Сопоставлением спутниковых изображений поверхности СЗ части Японского моря с измерениями на континентальном склоне у побережья Приморья (в слое 64–70 м) с помощью заякоренного профилографа «Аквалог» выявлены воды различного происхождения:

- холодные воды Приморского течения,
- прибрежные теплые воды, переносимые в сторону открытого моря на тыловой (восточной) периферии АЦ вихря,
- трансформированные субтропические воды, подходящие к месту установки «Аквалога» через систему вихрей и струй,
- холодные воды, связанные с прибрежным ветровым апвеллингом.