

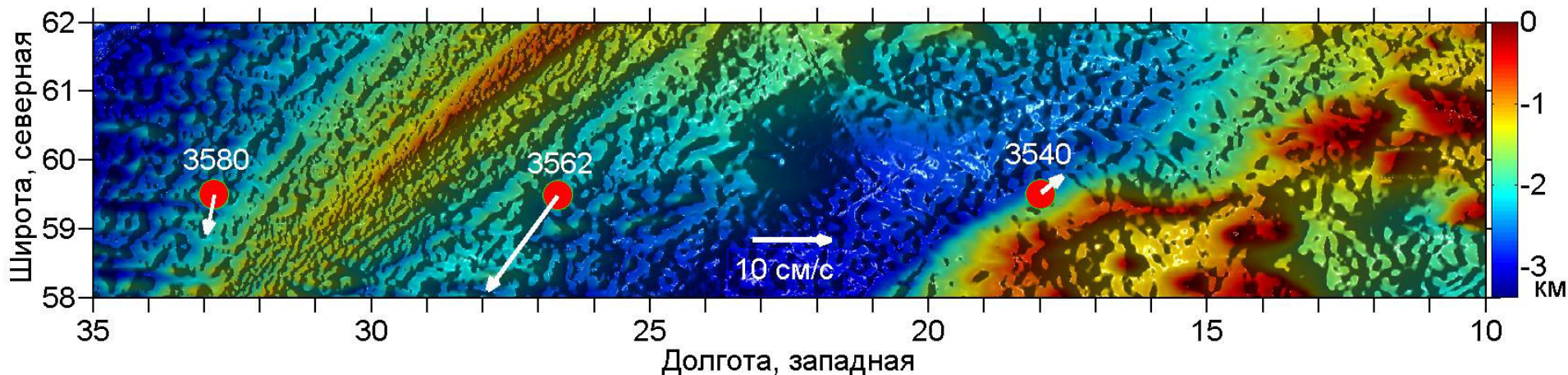
Шестнадцатая Всероссийская открытая конференция  
"Современные проблемы дистанционного зондирования  
Земли из космоса", 12–16 ноября 2018 г.

Придонные и поверхностные течения в зоне  
Субарктического фронта Атлантики  
по спутниковым и контактным  
*in situ* измерениям

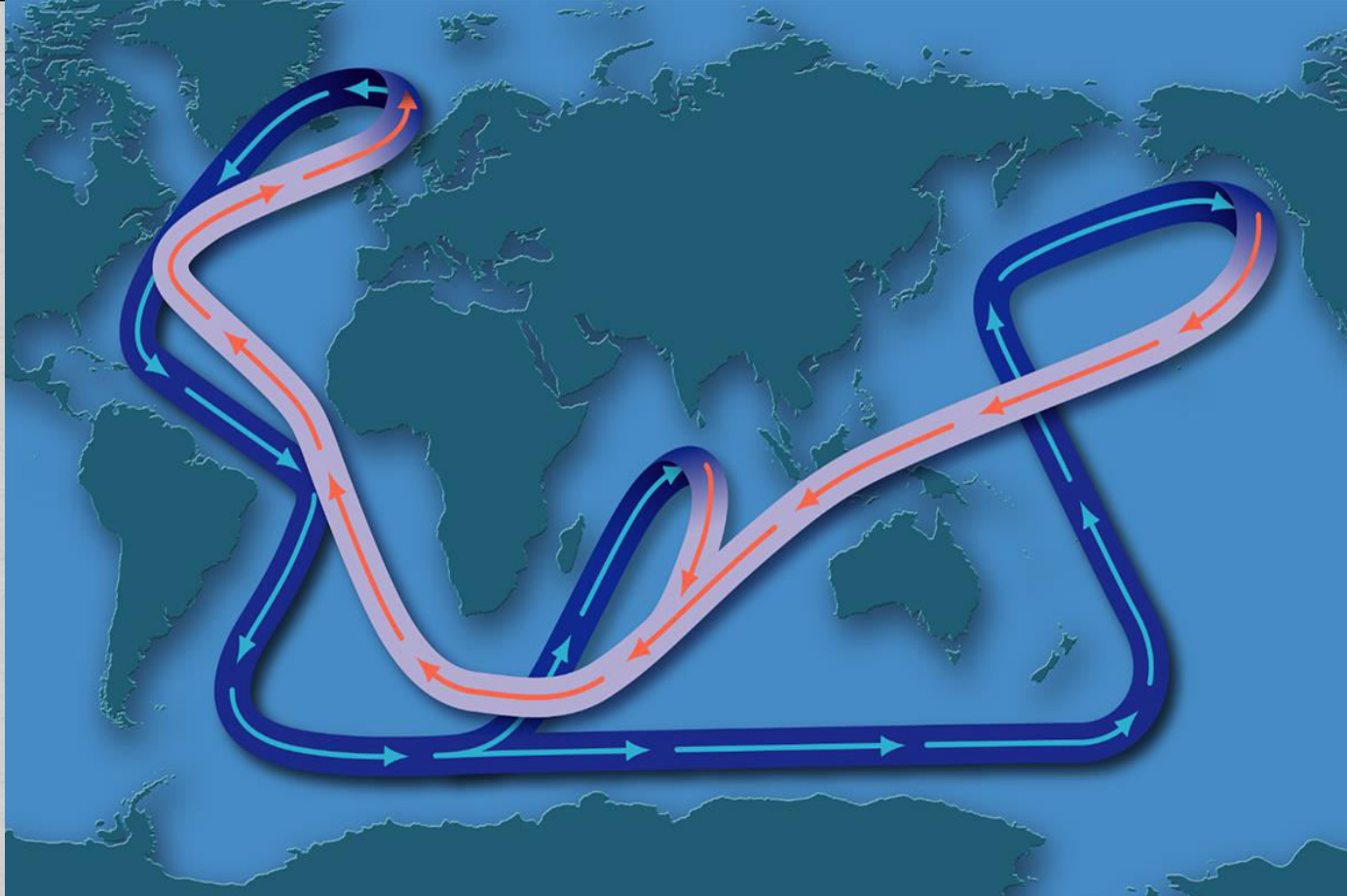
Мельников В.А., Амбросимов А.К., Ключиткин А.А.  
*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН*

14 ноября 2018 г.  
Москва, ИКИ РАН

На основе временных рядов измерений придонных скорости течений и температуры, полученных в период с июня 2016 года по июль 2017 года, в трёх точках в зоне Субарктического фронта Атлантики, наряду с использованием многолетних спутниковых данных зондирований поверхности океана в приполярном регионе, рассматриваются разно-масштабные изменения на поверхности океана и придонные течения над западным и восточным склонами хребта Рейкьянес и вблизи поднятия Хэттон, на плато Роколл.



Положение буйковых станций на фоне рельефа дна Северной Атлантики, в полосе вдоль гидрологического разреза ИО РАН - 59.5° с.ш. Стрелками показаны векторы средних за год придонных течений.



WHOI News Releases

APRIL 11, 2018

[Atlantic Ocean Circulation at Weakest Point in 1,600 years](#)

OCTOBER 18, 2013

[WHOI Scientists Receive \\$11.6 Million to Measure Changes in Ocean Circulation](#)

APRIL 13, 2018

[What If the Ocean's Climate-Controlling 'Conveyor Belt' Came to a Halt?](#)

*LiveScience*

APRIL 12, 2018

[Gulf Stream is weakest its been in 1,600 years, study says](#)

*UPI*

## **Предмет работы**

Предметом работы является анализ гидрофизических измерений на притопленных буйковых станциях с целью выяснения действующих физических механизмов развития разномасштабных динамических процессов в Субполярном круговороте Атлантики.

## **Данные**

С целью изучения придонной циркуляции вод в приполярной Атлантике, в рамках многолетней гидрофизической программы Института океанологии РАН (Sarafanov et al., 2018), на трёх буйковых станциях, в течение года, с июня 2016 г. по июль 2017 г., с дискретностью 1 час, выполнены измерения скорости течений и температуры воды в придонном слое, на флангах хребта Рейкьянес и вблизи поднятия Хэттон. Измерения скорости течений проведены на станции 3580 на горизонтах 446 м и 2134 м при общей глубине моря 2203 м; на станции 3562 на горизонте 2183 м при общей глубине моря 2237 м; на станции 3540 на горизонте 2175 м при общей глубине моря 2239 м. На станциях 3562 и 3540 (на тех же горизонтах) проведены измерения придонной температуры. При постановке и снятии буйковых станций проведены гидрологические зондирования от поверхности до дна с отсчётами через 10 м. Использовались также данные гидрологических станций (WOD), спутниковые массивы ТПО (Pathfinder), уровня моря (AVISO) и рельефа дна (ETOPO-1).

## **Методы обработки**

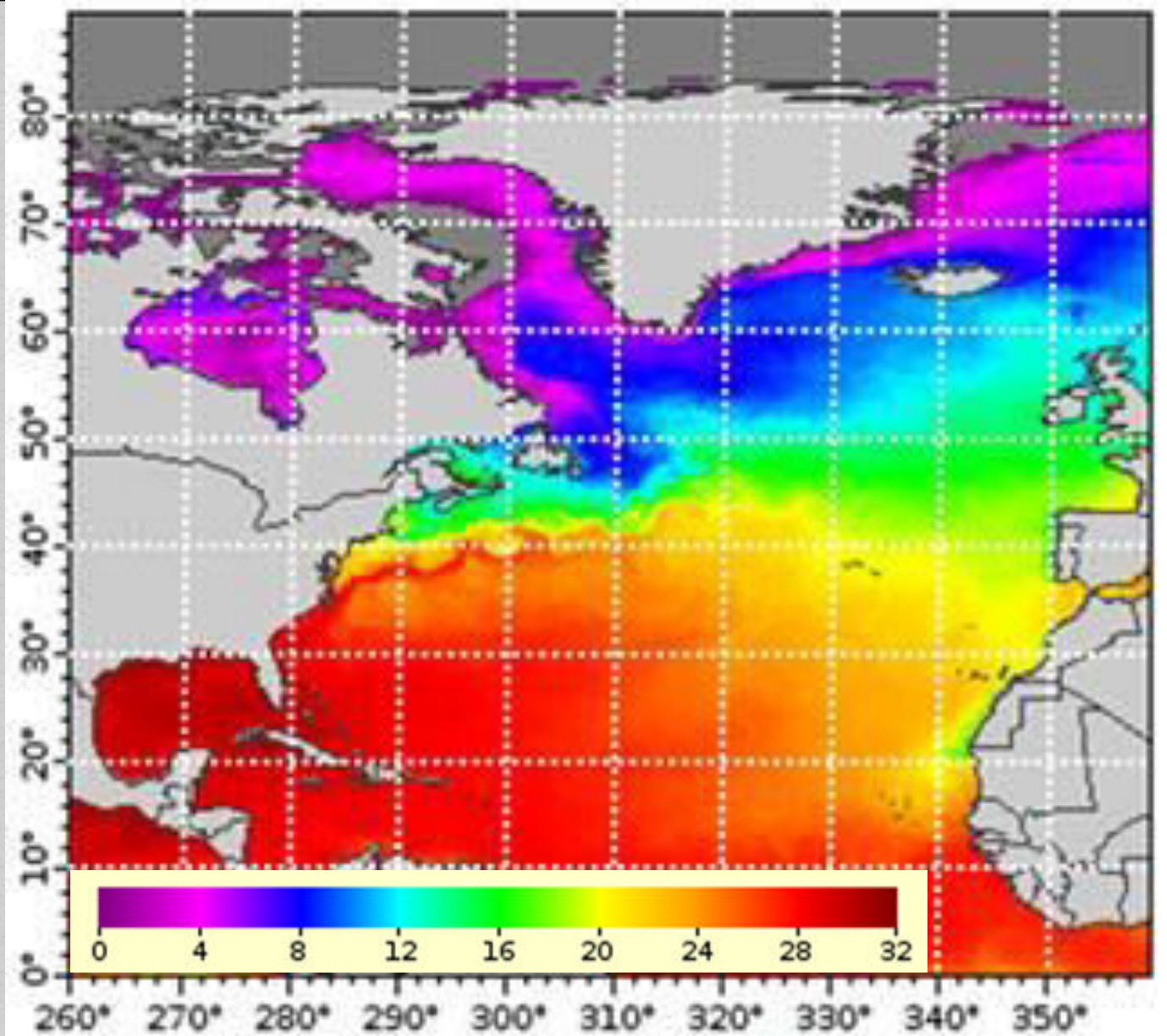
Для визуализации временных рядов векторных величин (направления и скорости ветра и течений) построены прогрессивные векторные диаграммы. Вариации параметров на разных временных масштабах были получены посредством различных фильтров с контролем воздействия сверток на исходный ряд по спектрам. Статистические соотношения между параметрами оценивались методами традиционного корреляционного, спектрального и вэйвлет анализов.

# Содержание

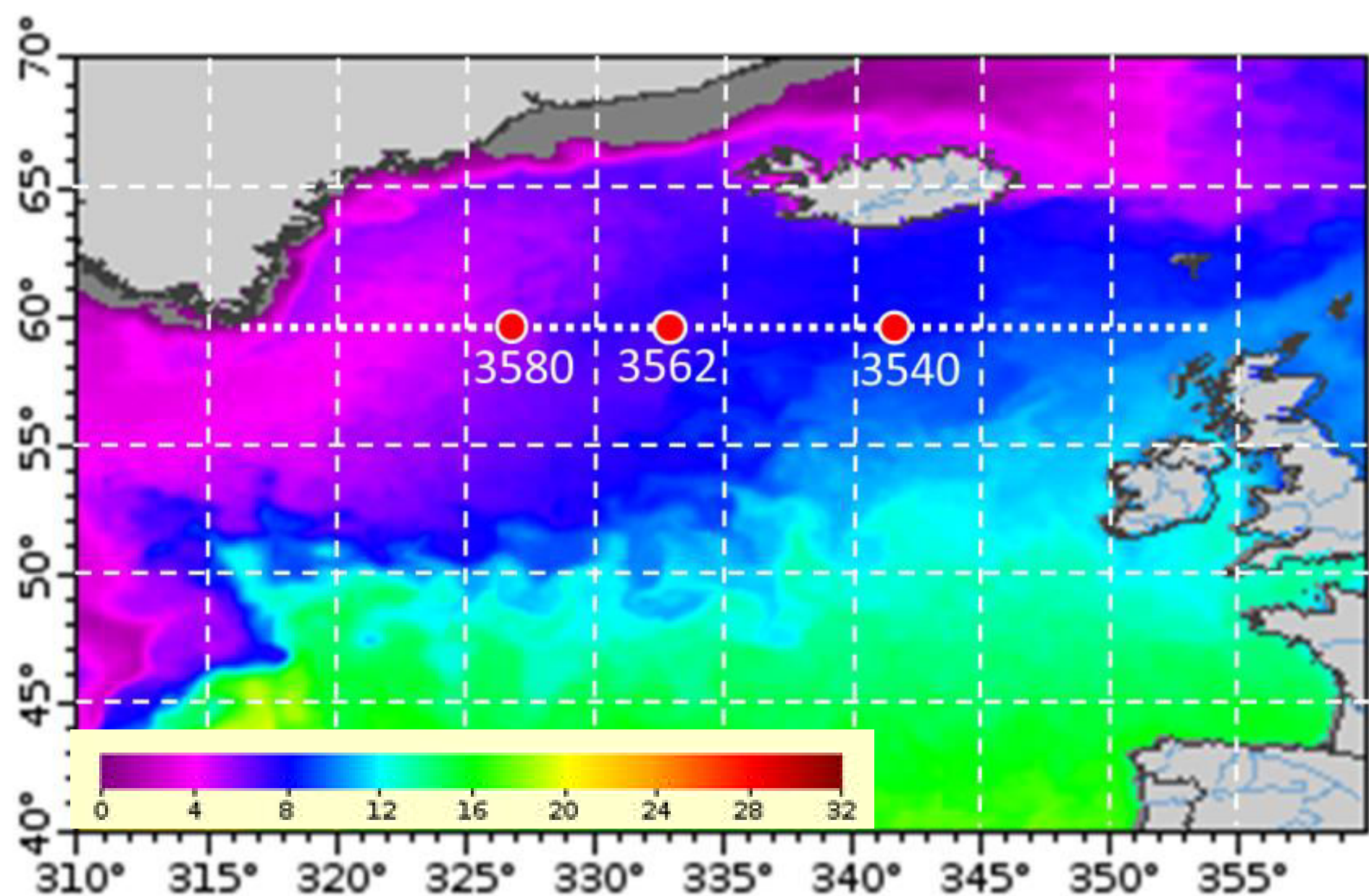
1. Цели исследования.
2. Температура поверхности океана (ТПО).
3. Уровень моря.
4. Рельеф дна.
5. Гидрология.
6. Измерения течений на станциях 3580, 3562, 3540 .
7. Сравнение с геострофическими течениями на поверхности моря.
8. Измерения температуры в придонном слое на станциях 3562, 3540.
9. Спектры Фурье и вэйвлеты.
10. Программа OSNAP.
11. Выводы.

## Цели исследования

1. Схема течений в поверхностном, промежуточном и придонном слоях приполярного океана. Система придонных течений в Исландском бассейне, включая пути распространения придонных вод, перетекающих из Арктического бассейна.
2. Определение внутри-сезонной, сезонной, межгодовой и климатической изменчивости измеряемых параметров, включая интегральные индексы, потоки тепла и адвекцию вод.
3. Вихревое поле и суб-мезомасштабная гидродинамика.
4. Нестационарность колебаний, среднему значению, дисперсии и по частотам. Пульсирующие придонные течения над хребтом Рейкьянес.
5. Количественные оценки изменчивости короткопериодных и мелкомасштабных процессов.
6. Поиск в данных измерений гидродинамических и гидрофизических механизмов и воздействующих на систему внешних факторов.
7. Корреляционные связи верхней и нижней ветвей АМОС и оценка временных масштабов. Взаимосвязи элементов АМОС в субтропической и субполярной акваториях Атлантики.
8. Взаимосвязи АМОС с атмосферными воздействиями.
9. Взаимосвязи поверхностных и придонных течений в системе АМОС.
10. Количественная оценка интенсивности АМОС в субполярном регионе.

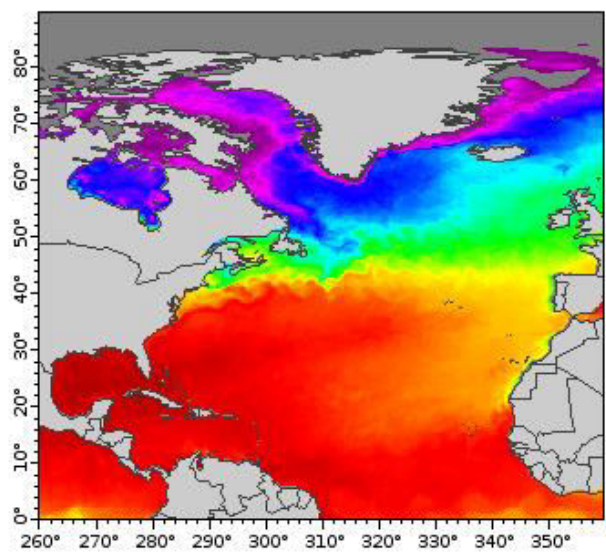
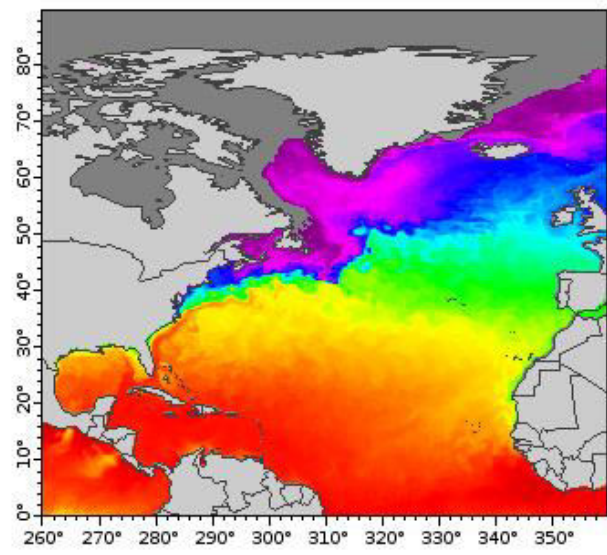
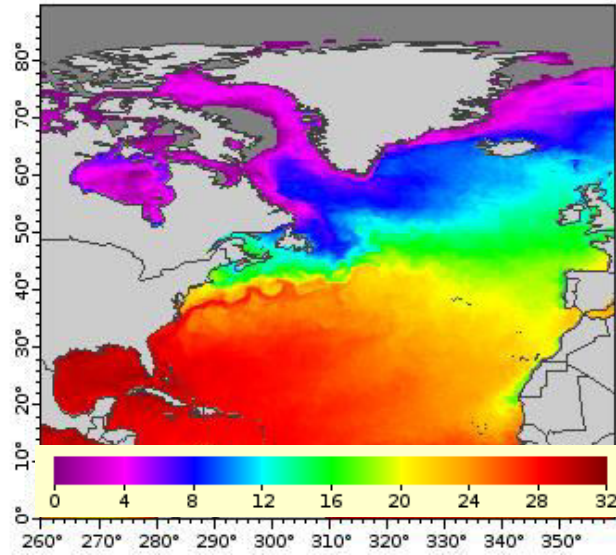


Структура и положение крупномасштабных фронтальных зон в районе измерений по спутниковым данным температуры в Северной Атлантике, в летний сезон (2016-07-01).

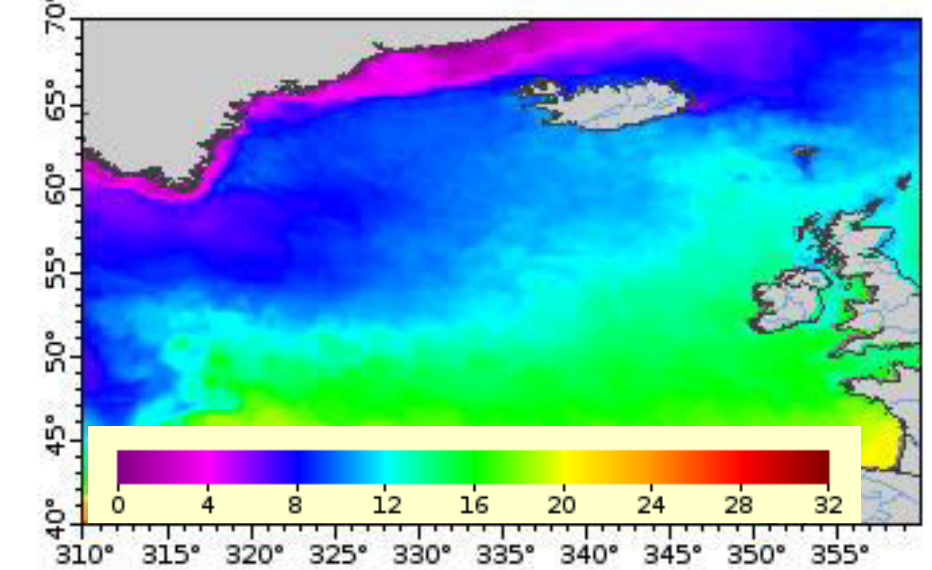
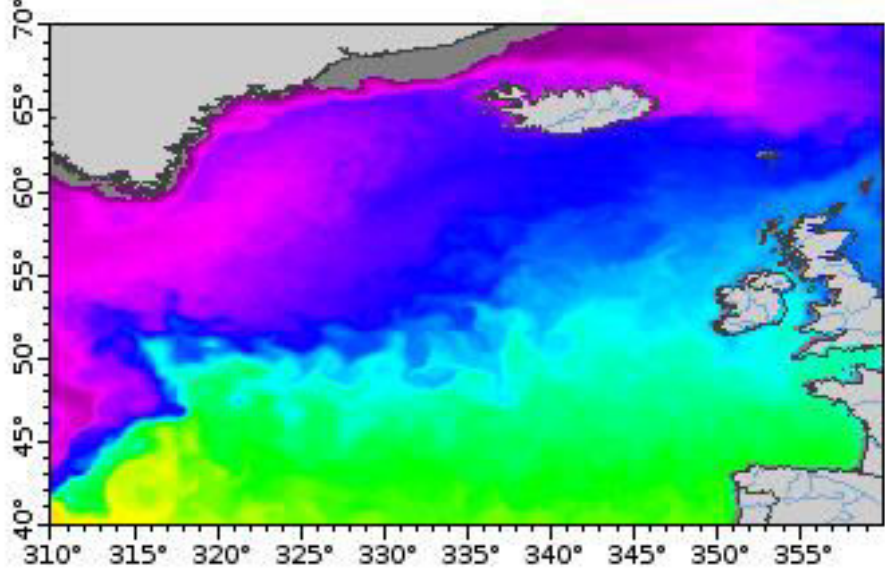


Положение буйковых станций на фоне поля ТПО Северной Атлантики 2015-12-01. Точечным пунктиром показано положение многолетнего гидрологического разреза ИО РАН - вдоль 59.5° с.ш.

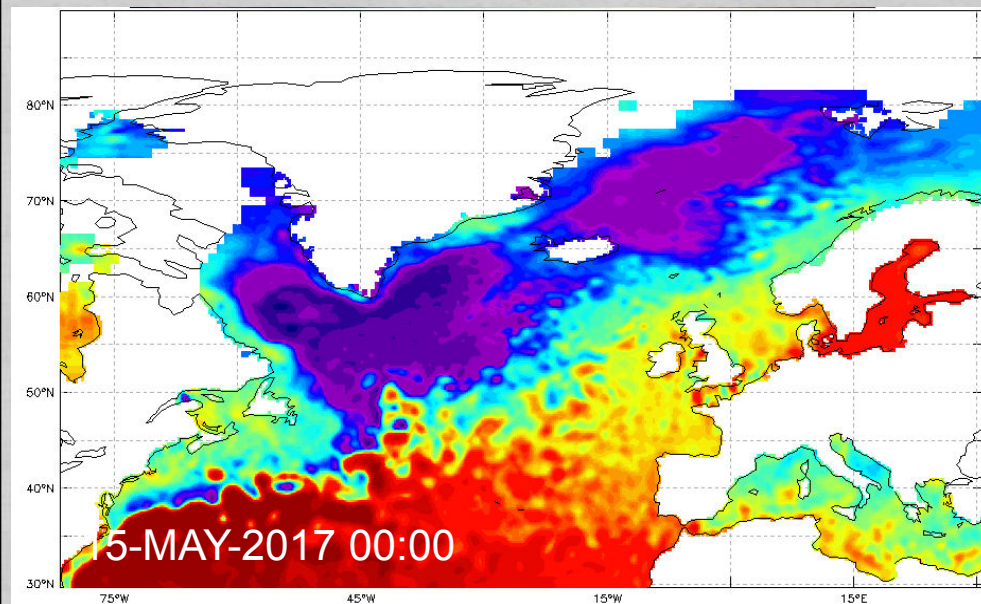
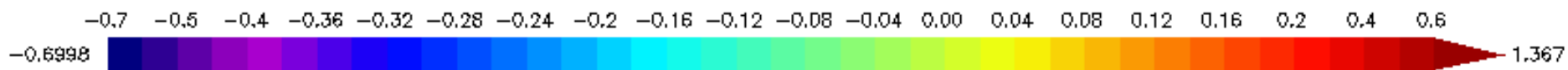
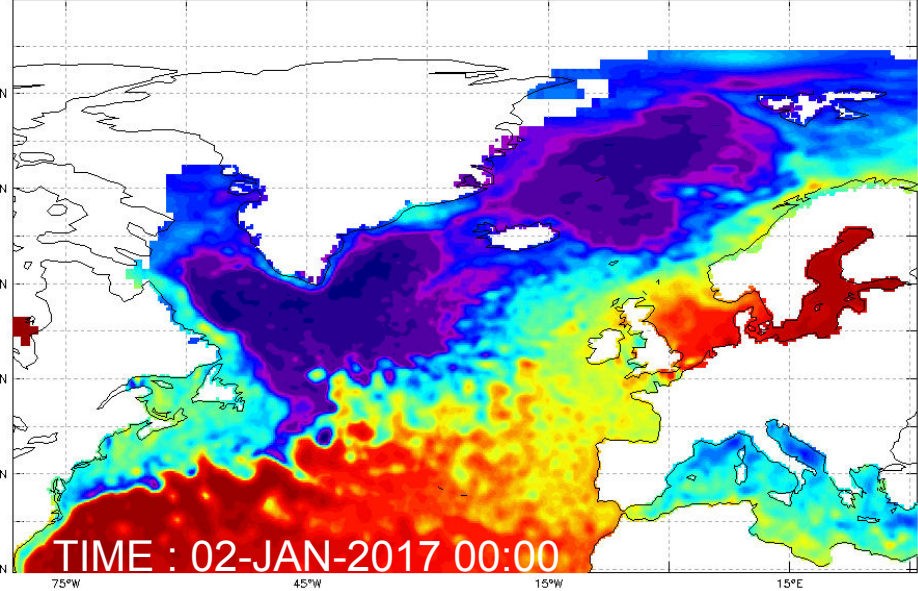
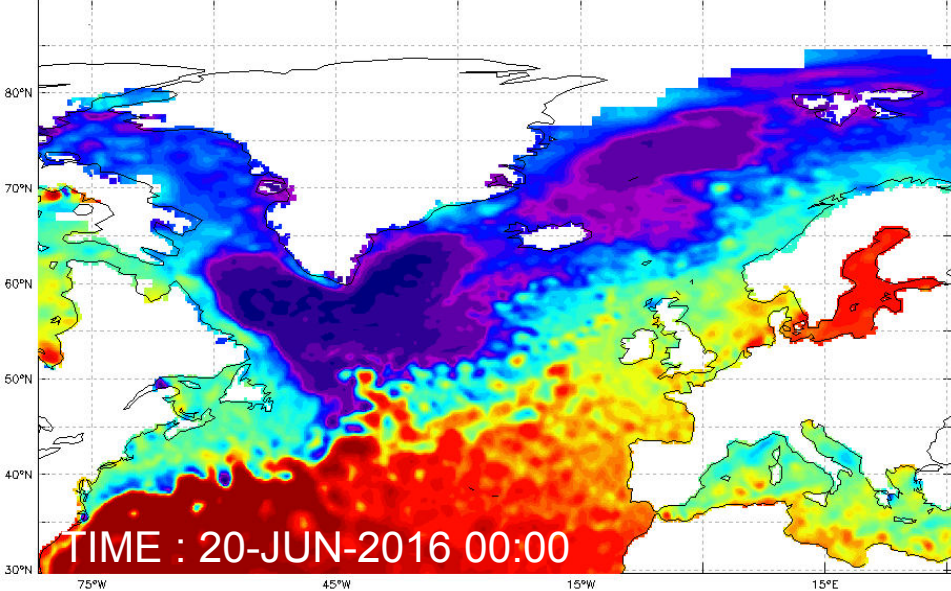




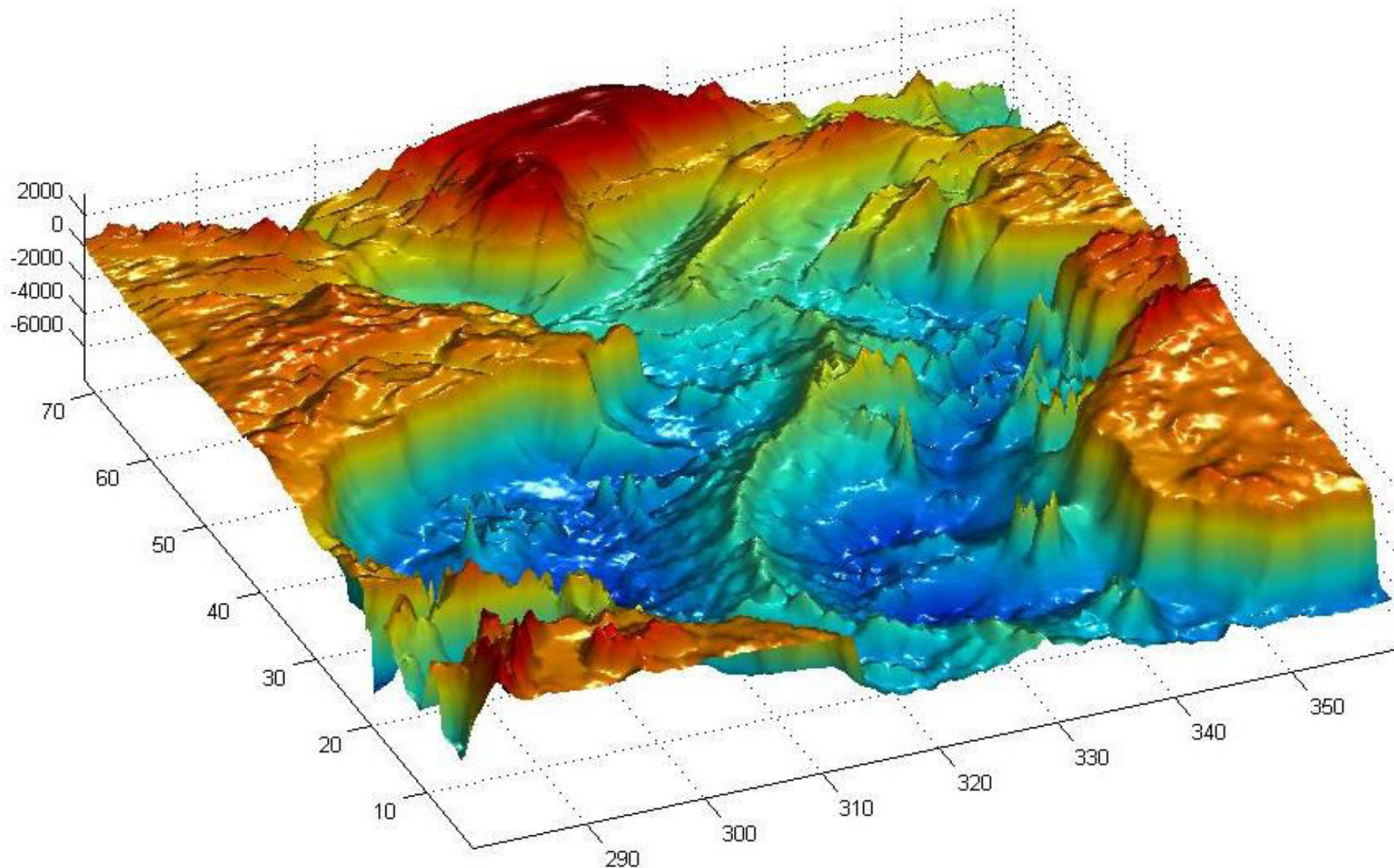
Структура и положение главных фронтальных зон в Северной Атлантике в летний и в зимний сезон: 2016-07-01, 2017-01-01 и 2017-08-01 по данным SST (Ocean-Watch, Goes-POES – 2 days, NOAA/NESDIS).



Структура Субполярного фронта зимой (2015-12-01) и летом(2016-07-01).

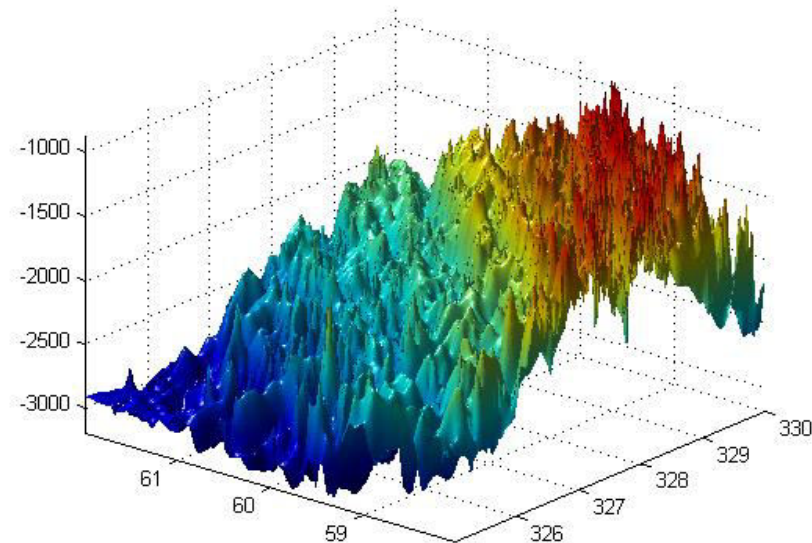
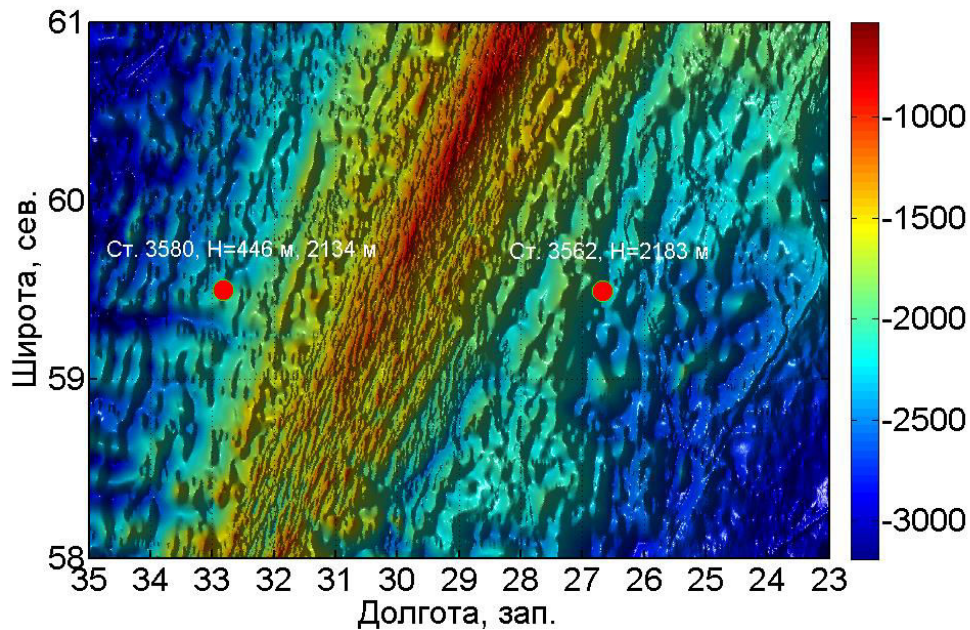


Структура и положение главных фронтальных зон в Северной Атлантике летом (2016-07-01), зимой (2017-01-01) и весной (2017-08-01) по данным аномалий уровня моря AVISO.

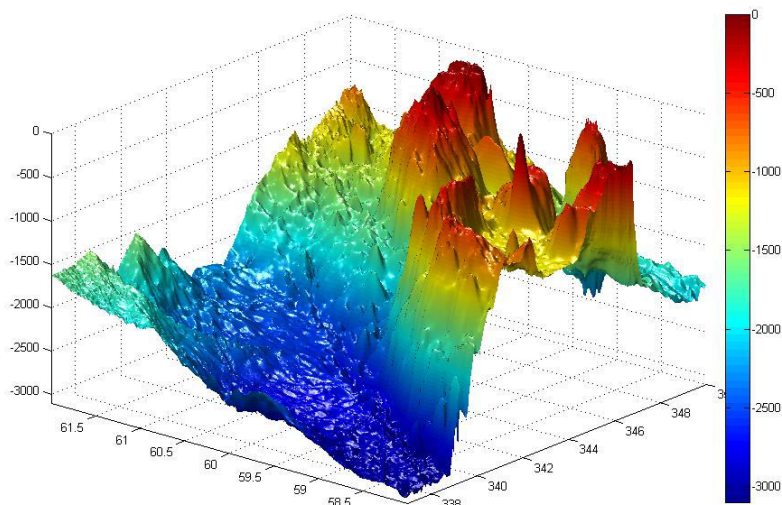
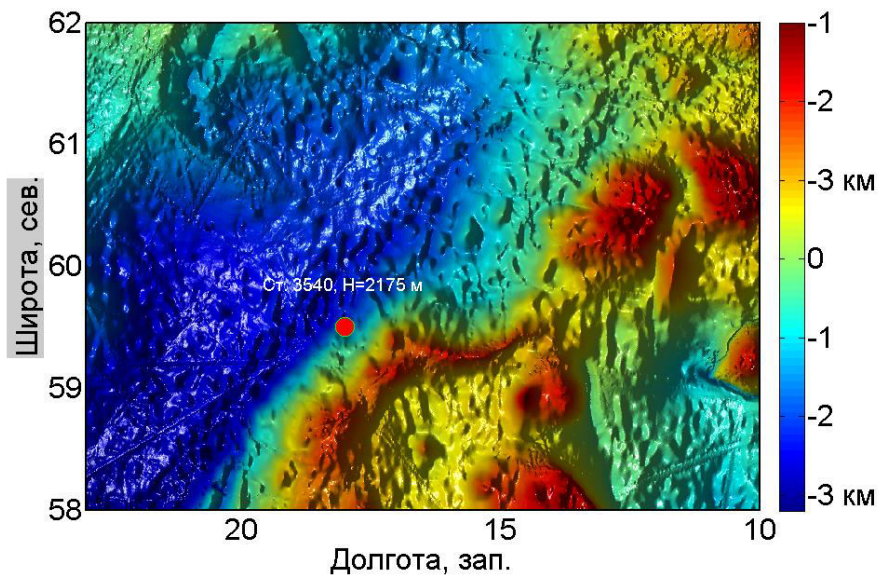


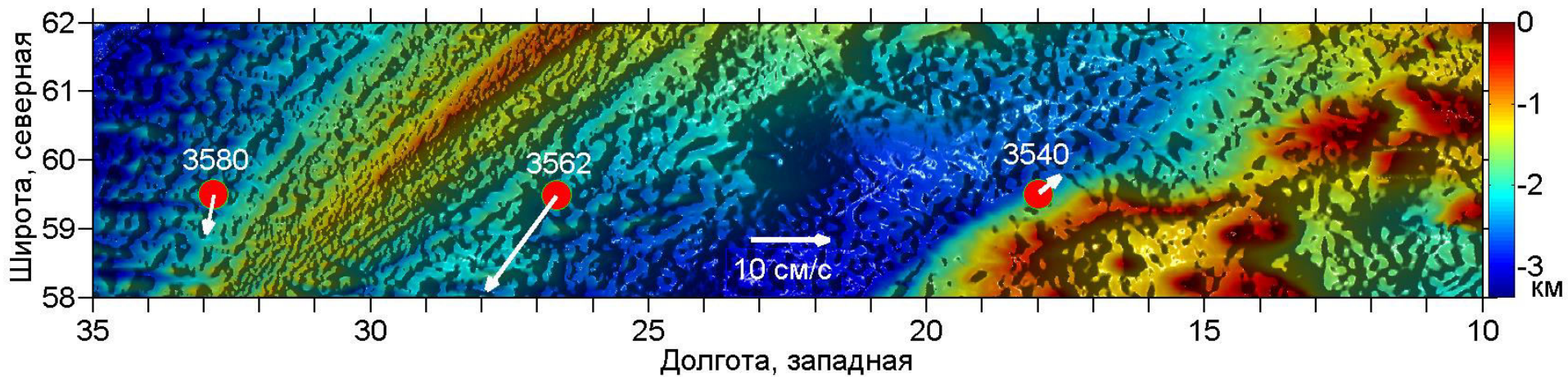
Рельеф дна Северной Атлантики. Данные ETOPO-5.

Smith, W. H. F., and D.T. Sandwell, Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, v. 277, 1997, pp.1957-1962.



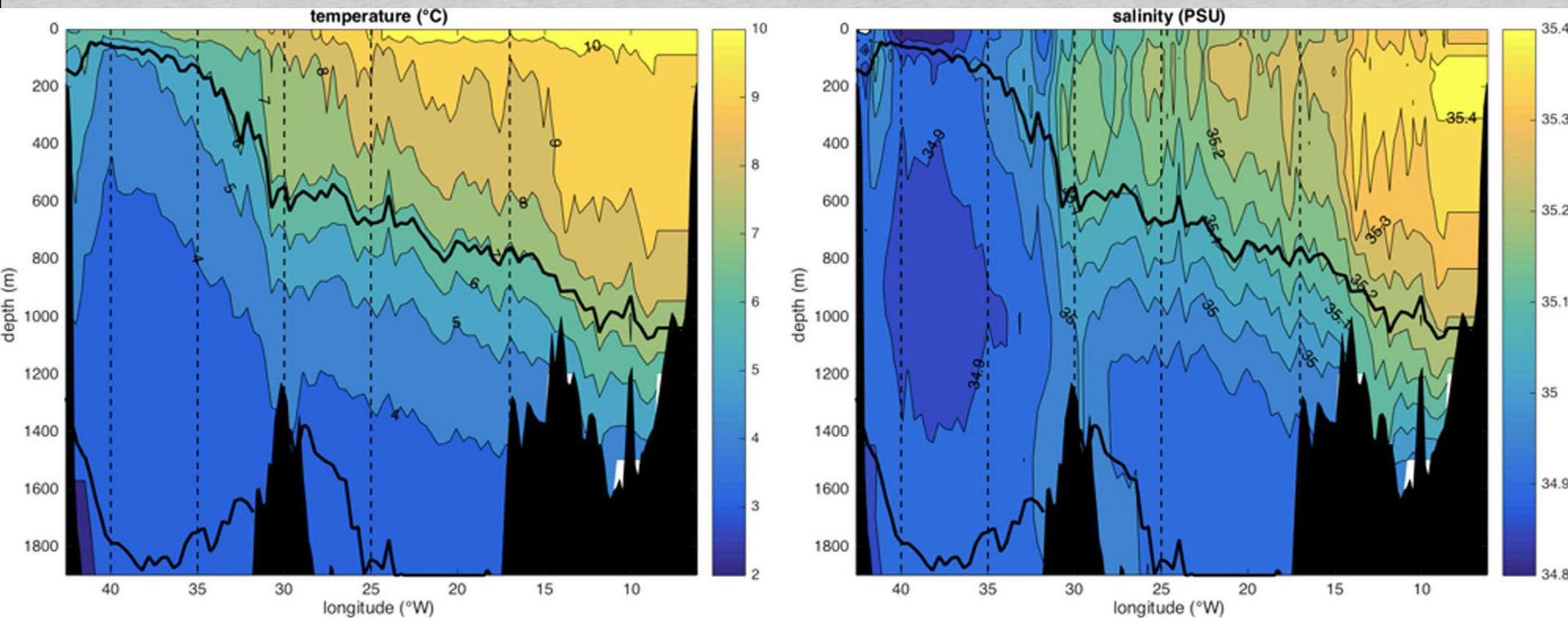
Рельеф дна в полосе 58-62 с.ш., 35-23 з.д. (вид сверху) и изометрическая проекция.



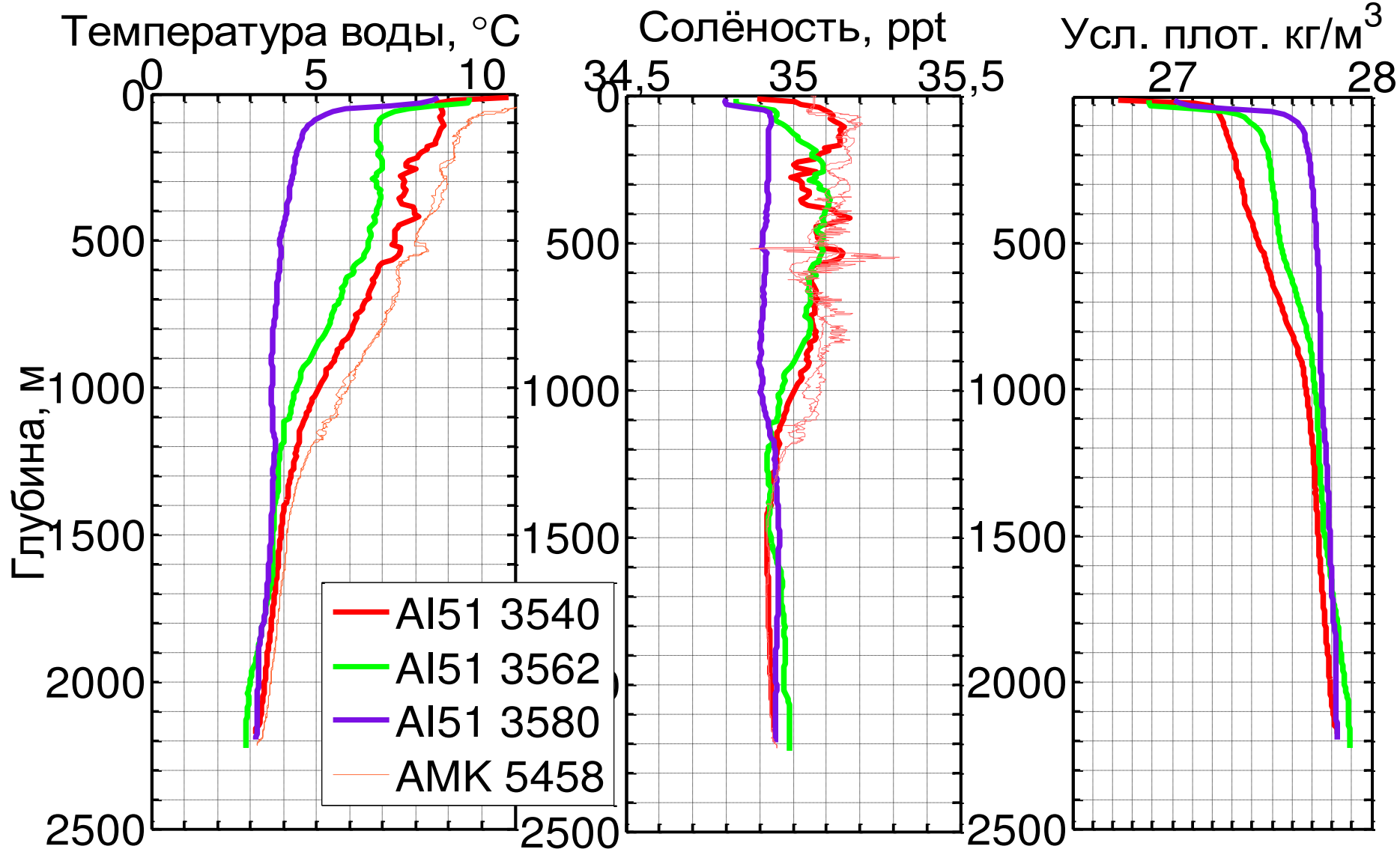


Положение станций на фоне рельефа дна Северной Атлантики. в полосе вдоль гидрологического разреза ИО РАН. Данные ЕТОРО-1.

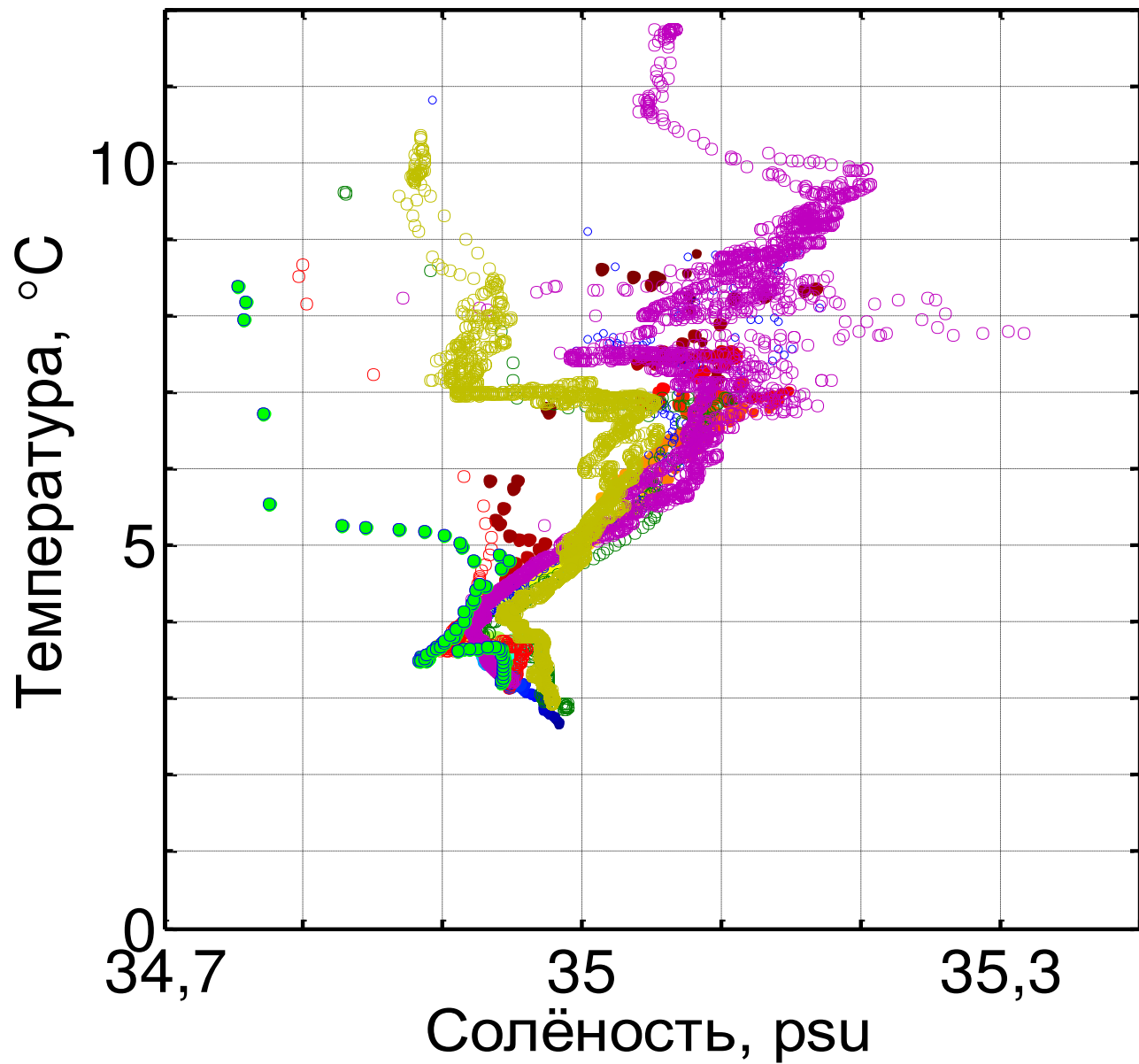
Smith, W. H. F., and D.T. Sandwell, Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, Science, v. 277, 1997, pp.1957-1962.



Разрез средних температуры и солёности между Гренландией и Шотландией на основе данных 1100 зондирований ARGO вблизи широты  $59.58^\circ$  с.ш. Жирные линии обозначают уровни усл. плотности  $27.55$  и  $27.80 \text{ kg/m}^3$ , разделяя область на верхний слой, где дрейф вод на северо-восток; придонный слой с обратными течениями и промежуточный слой Лабрадорской воды между ними. Программа OSNAP.

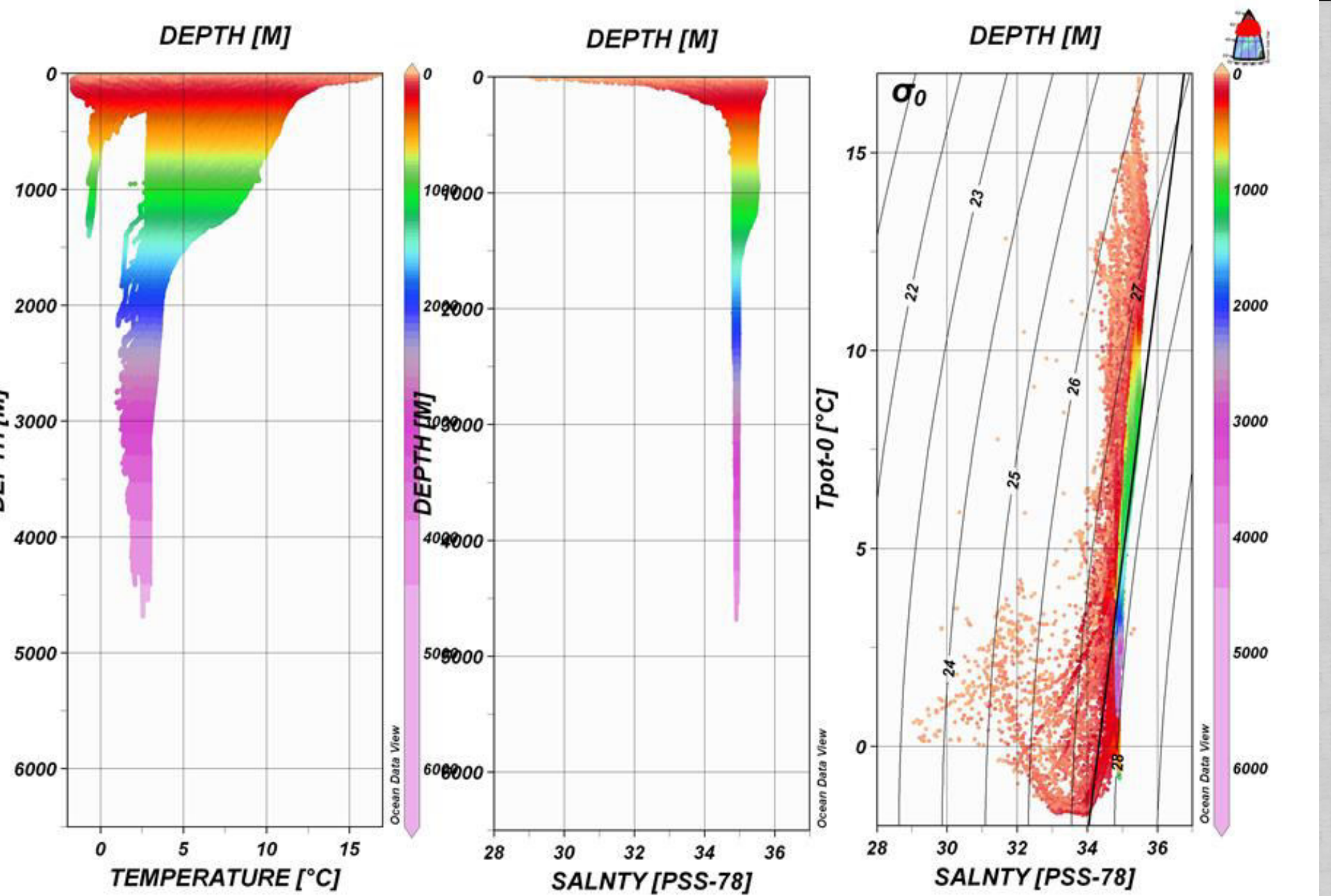


Гидрологические профили CTD (температура, солёность, плотность) в зоне приполярных водных масс по обе стороны Субарктического фронта, по данным зондирований на станциях: AI\_3540, AI\_3562, AI\_3580, АМК\_5458.



T-S диаграмма по данным станций АИ-49, АИ-51 и АМК-69.

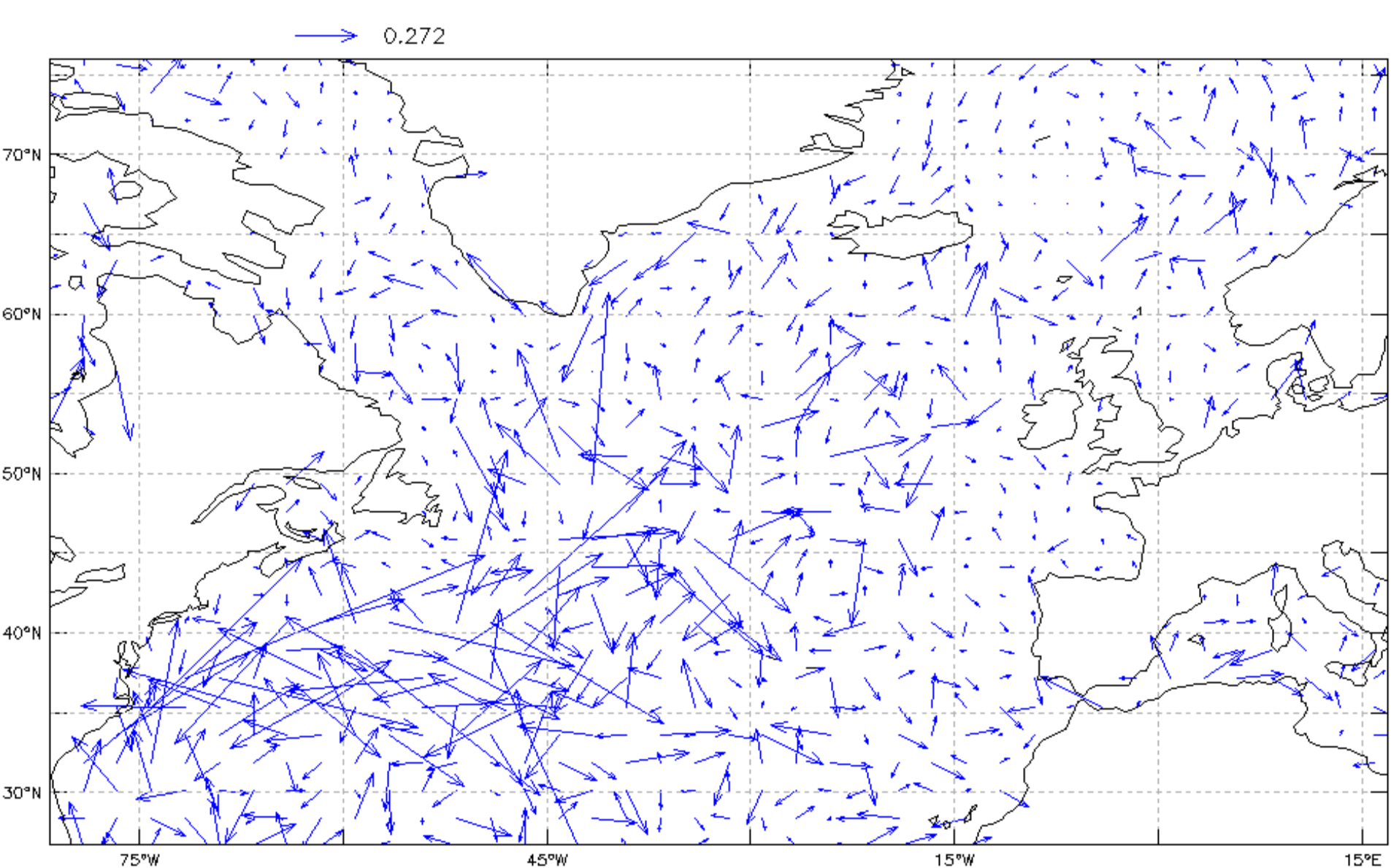




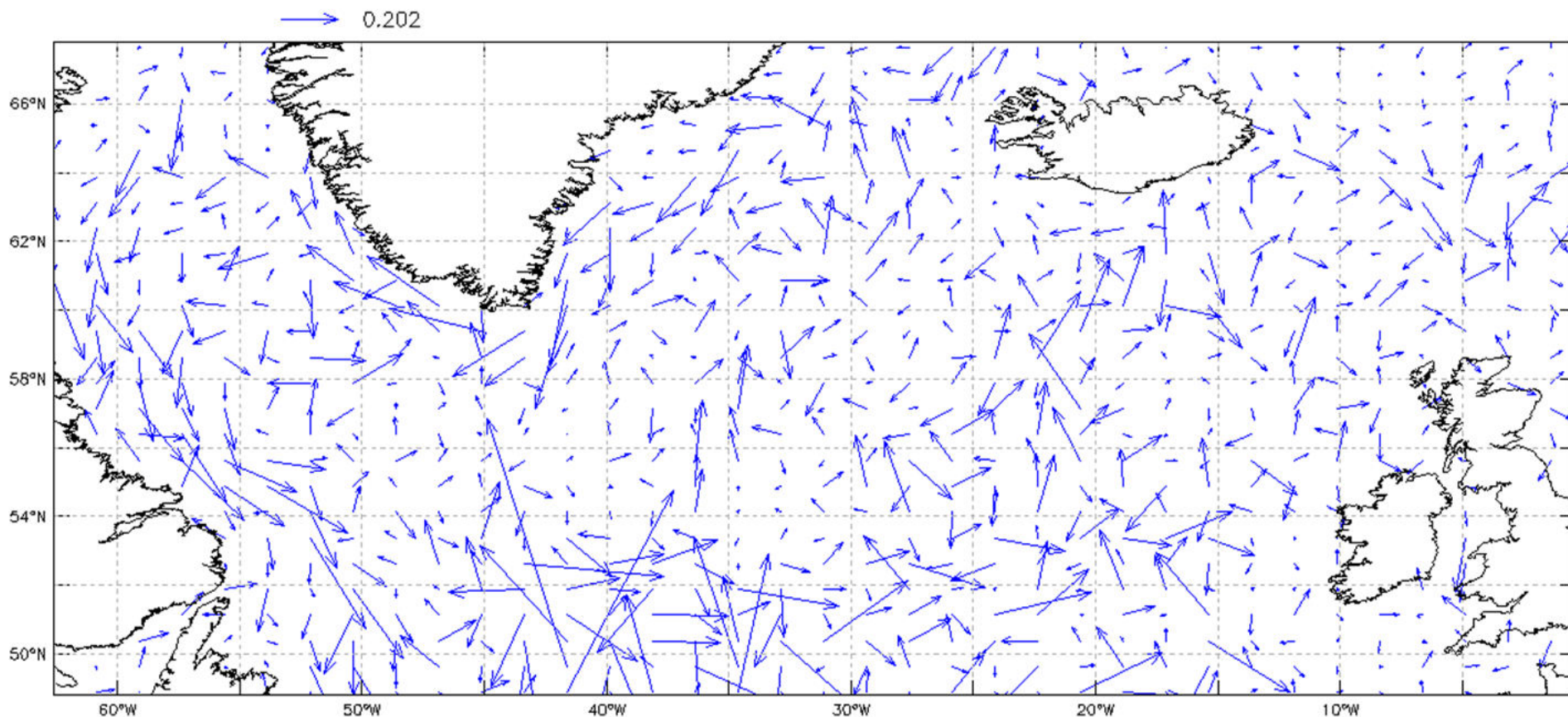
T-S диаграмма по данным гидрологических станций WOCE и WOD в квадрате 50-70° с.ш. и 0-50° з.д. Всего - 489318 пар значений температуры и солёности.



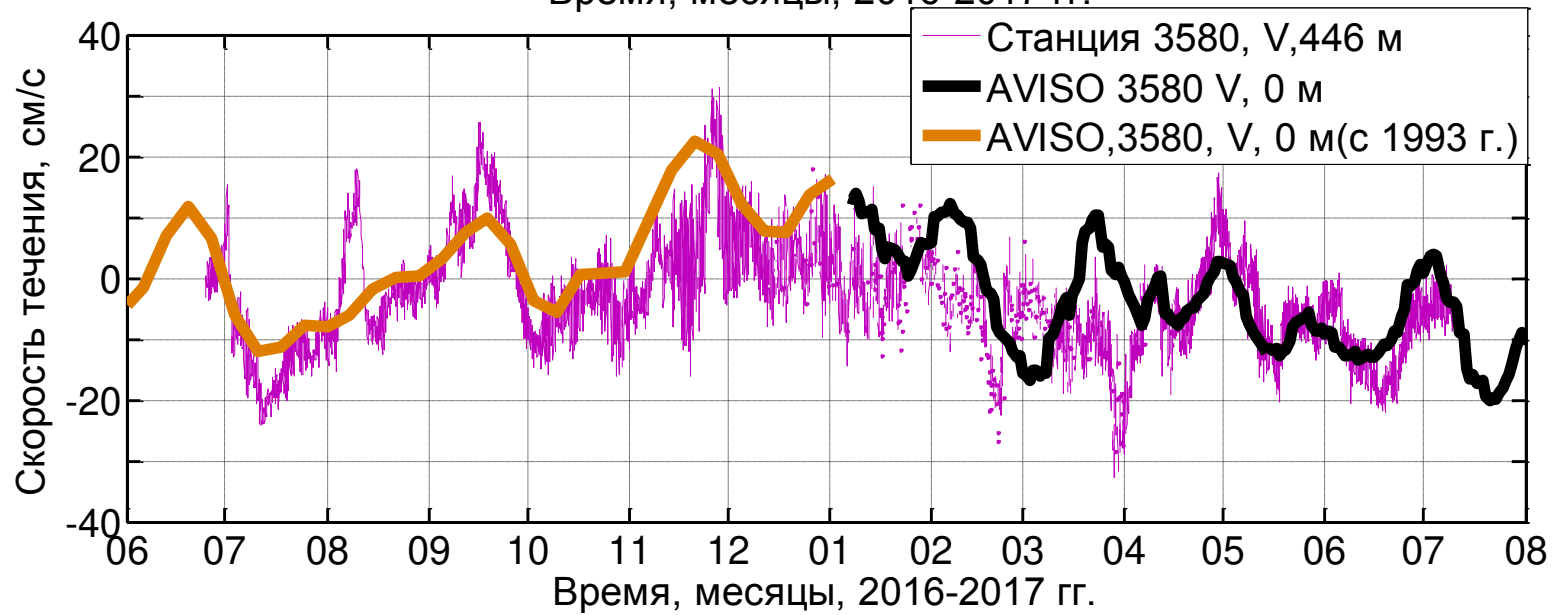
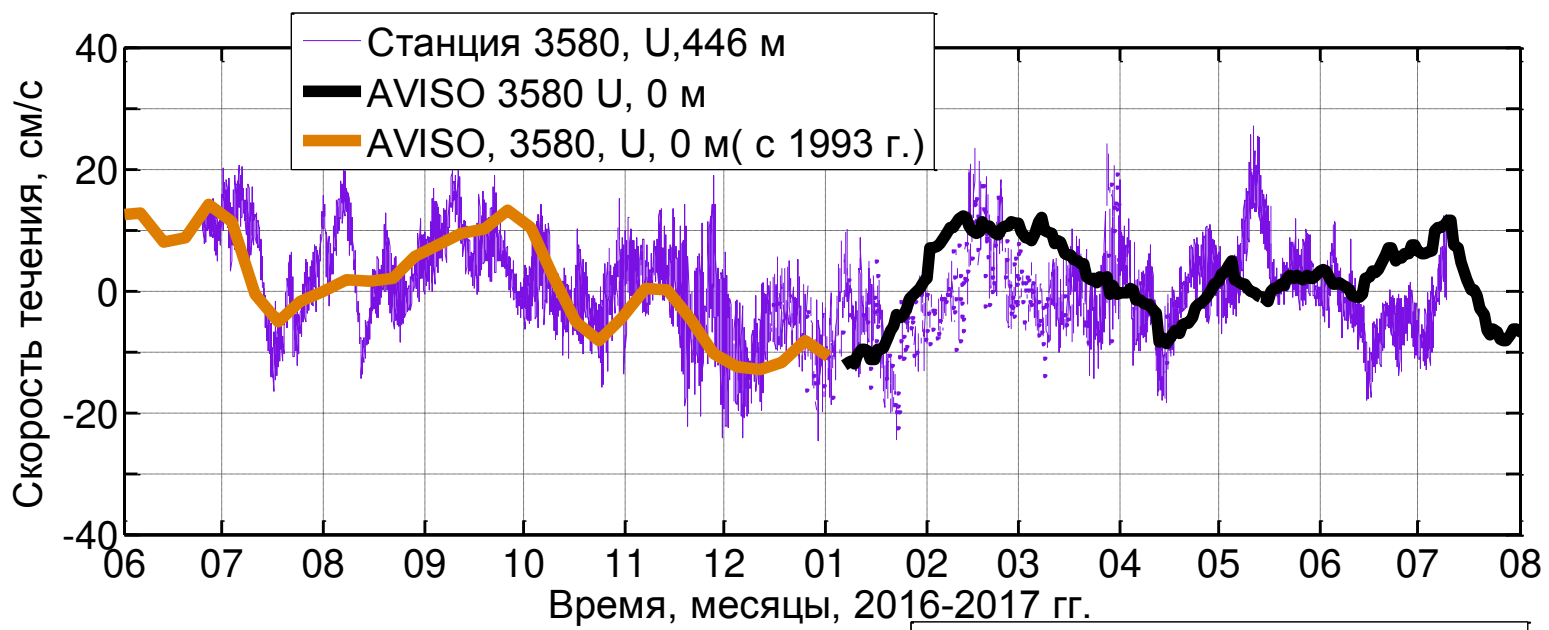
Упрощённая схема течений в Северной Атлантике.



Геострофические скорости течения на поверхности моря, AVISO,  
15 июля, 2017 г.

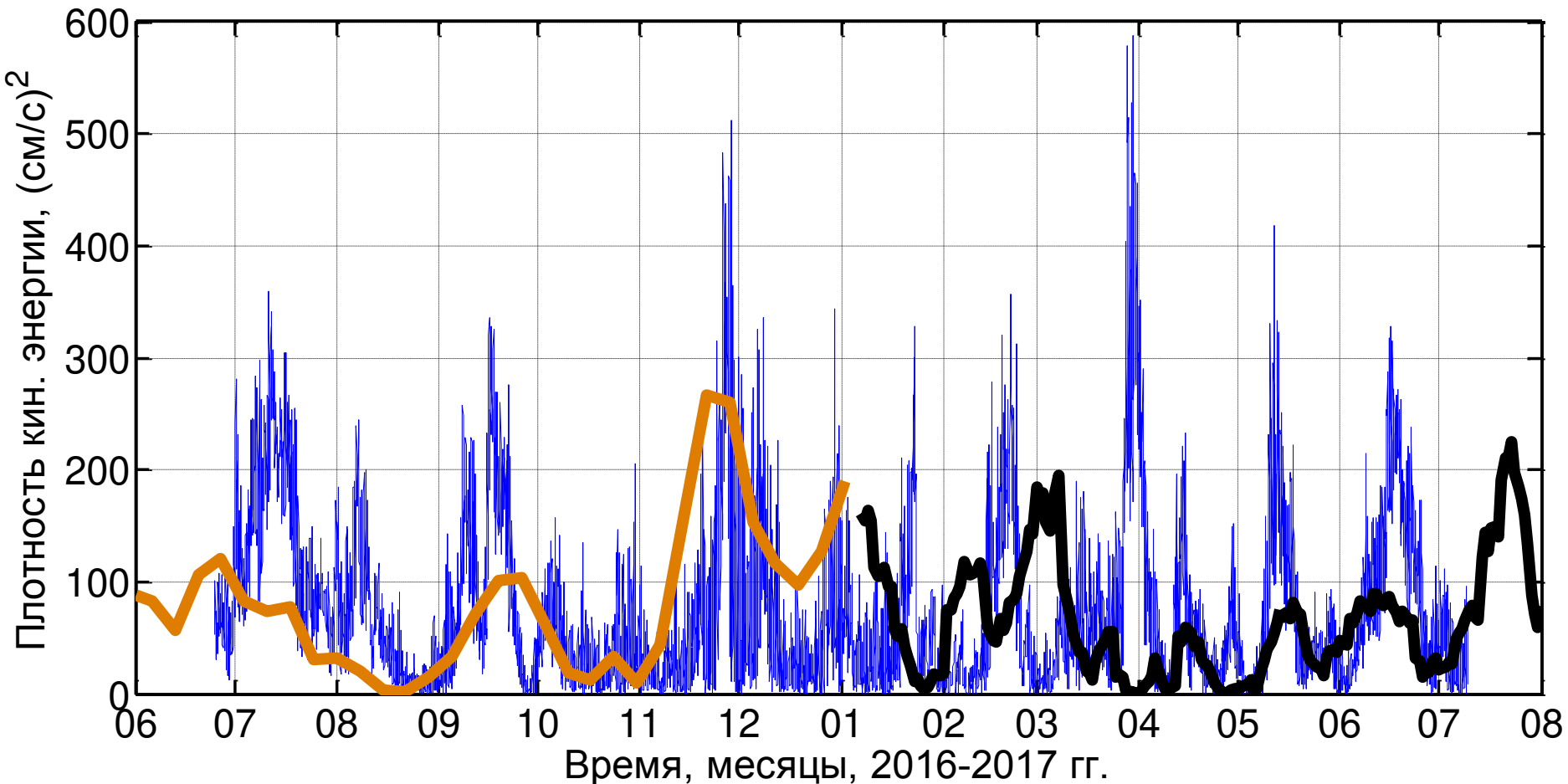


Геострофические скорости течения на поверхности моря, AVISO, 15 июля, 2017 г.

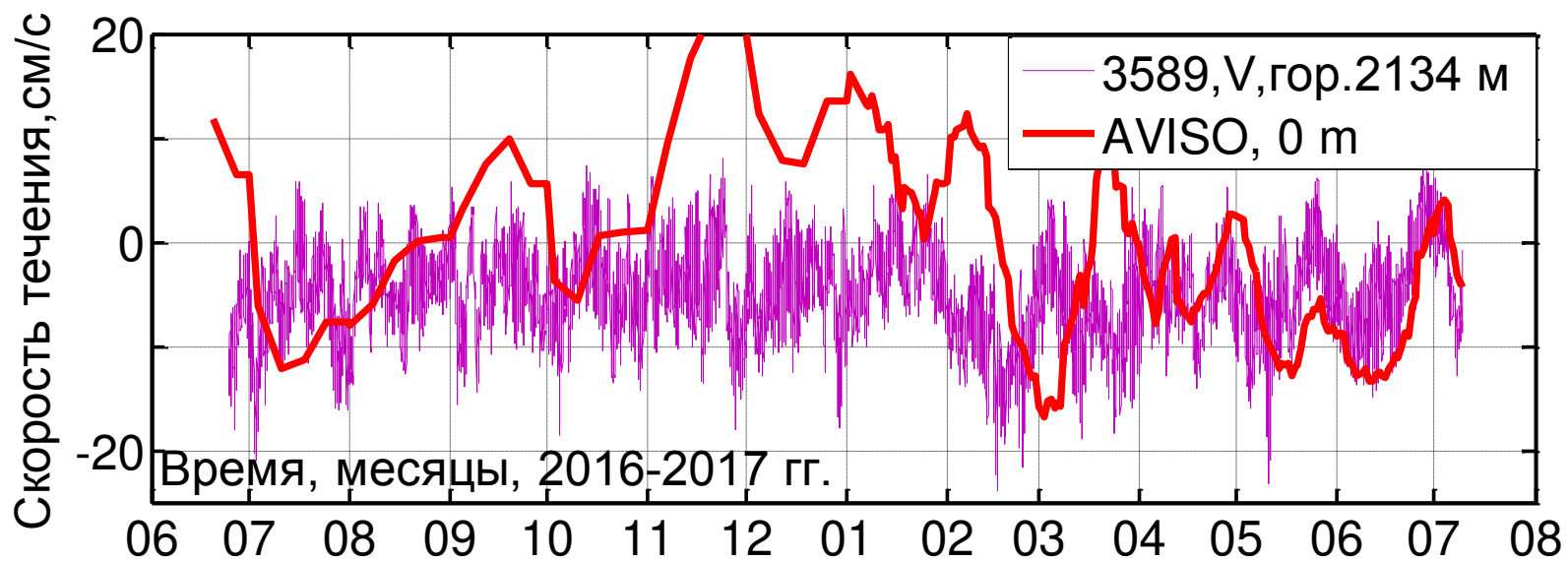
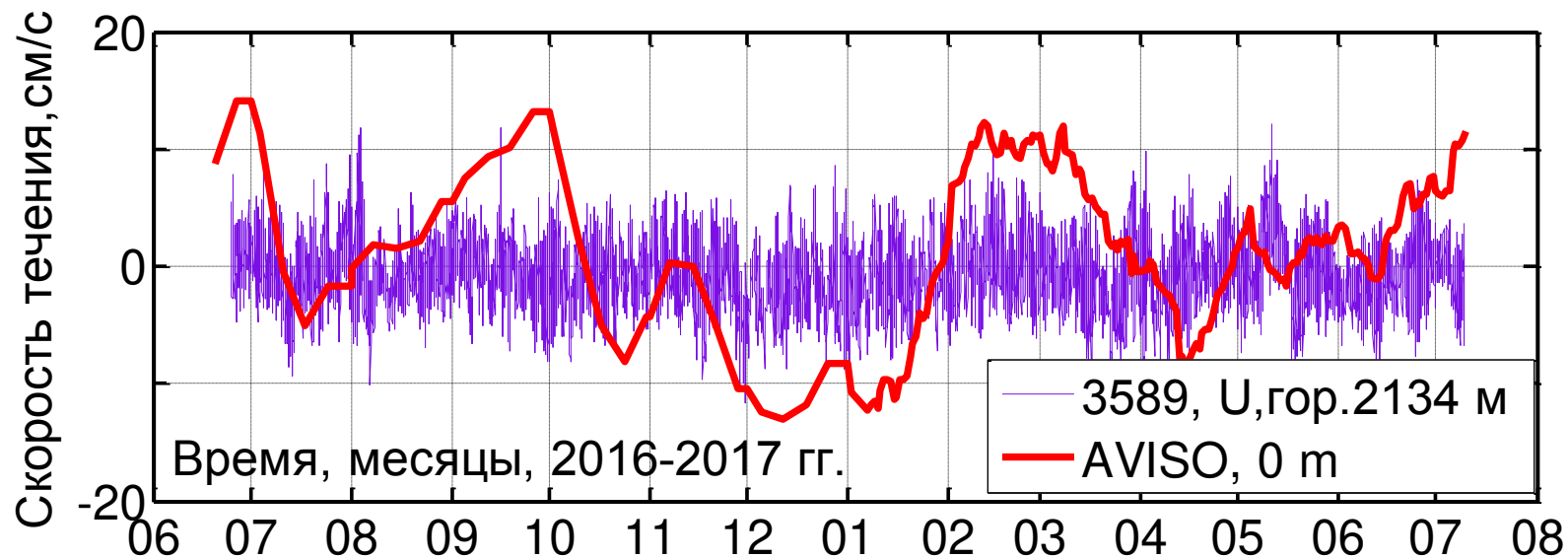


Скорости течений на ст. 3580, горизонт 446 м и баротропная компонента течений (геострофика) по данным AVISO вблизи ст. 3580, в точке 59.,5 N, 32.8 W , с 07\_01\_2017\_ по 07\_05\_2018 .

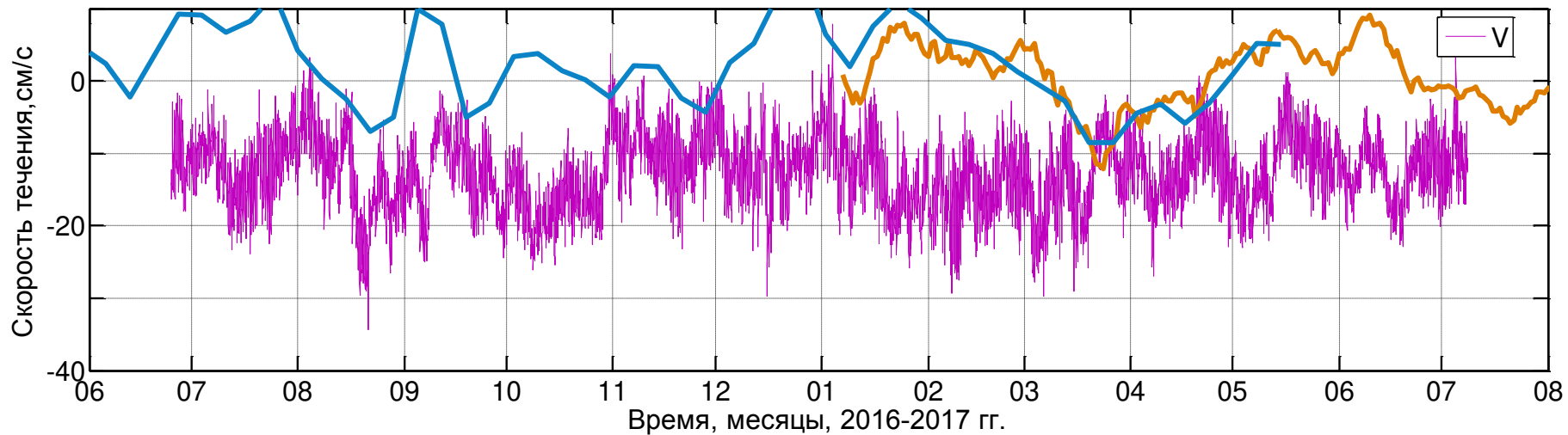
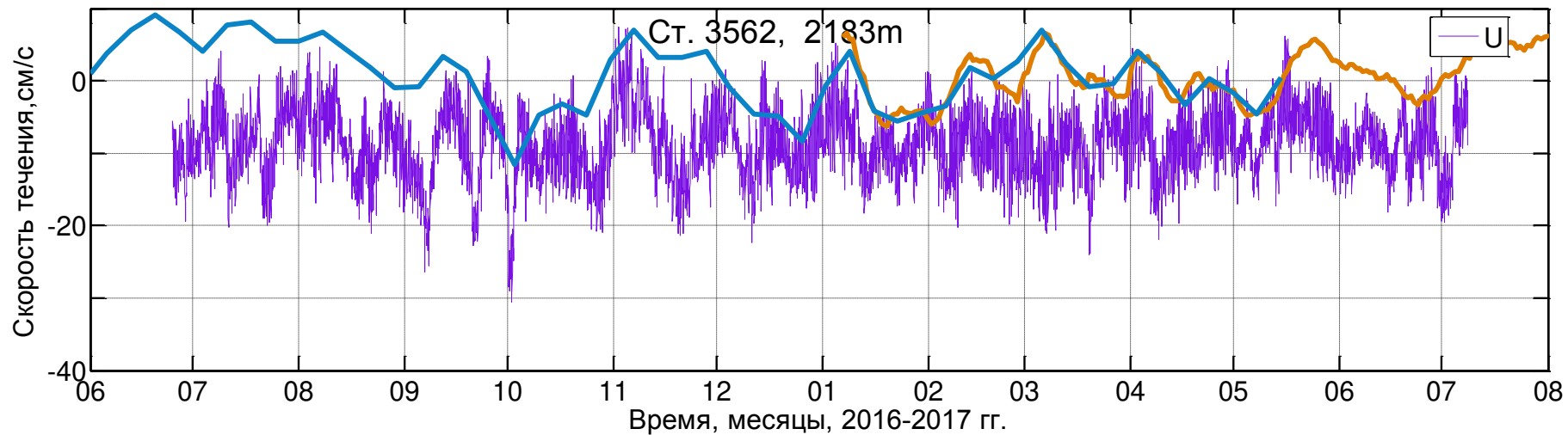
# Ст. 3580,446 м+AVISO



Плотность кинетической энергии течений на ст\_3580, глубина 446м(синяя линия) и геострофического течения на поверхности моря, по данным AVISO(жирные линии).

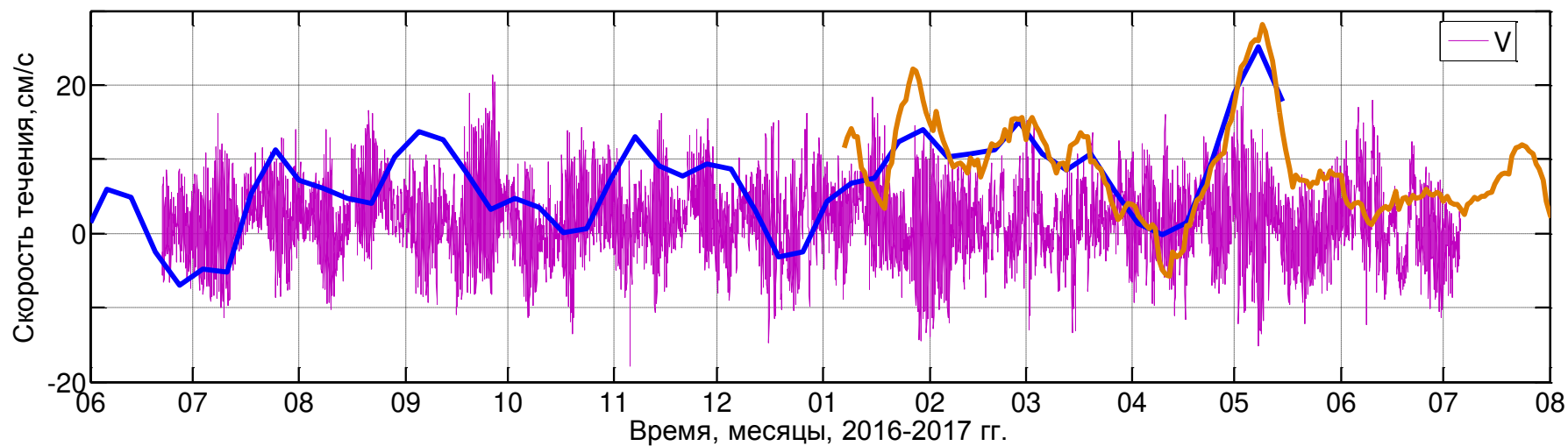
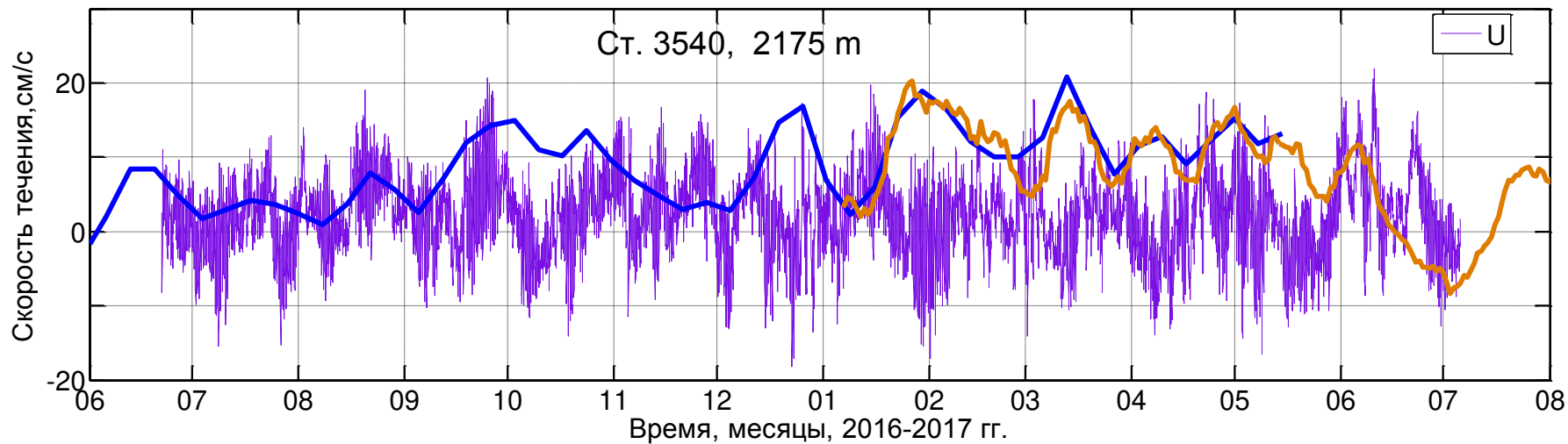


ст\_3580\_2134 м\_U\_V\_+  
AVISO

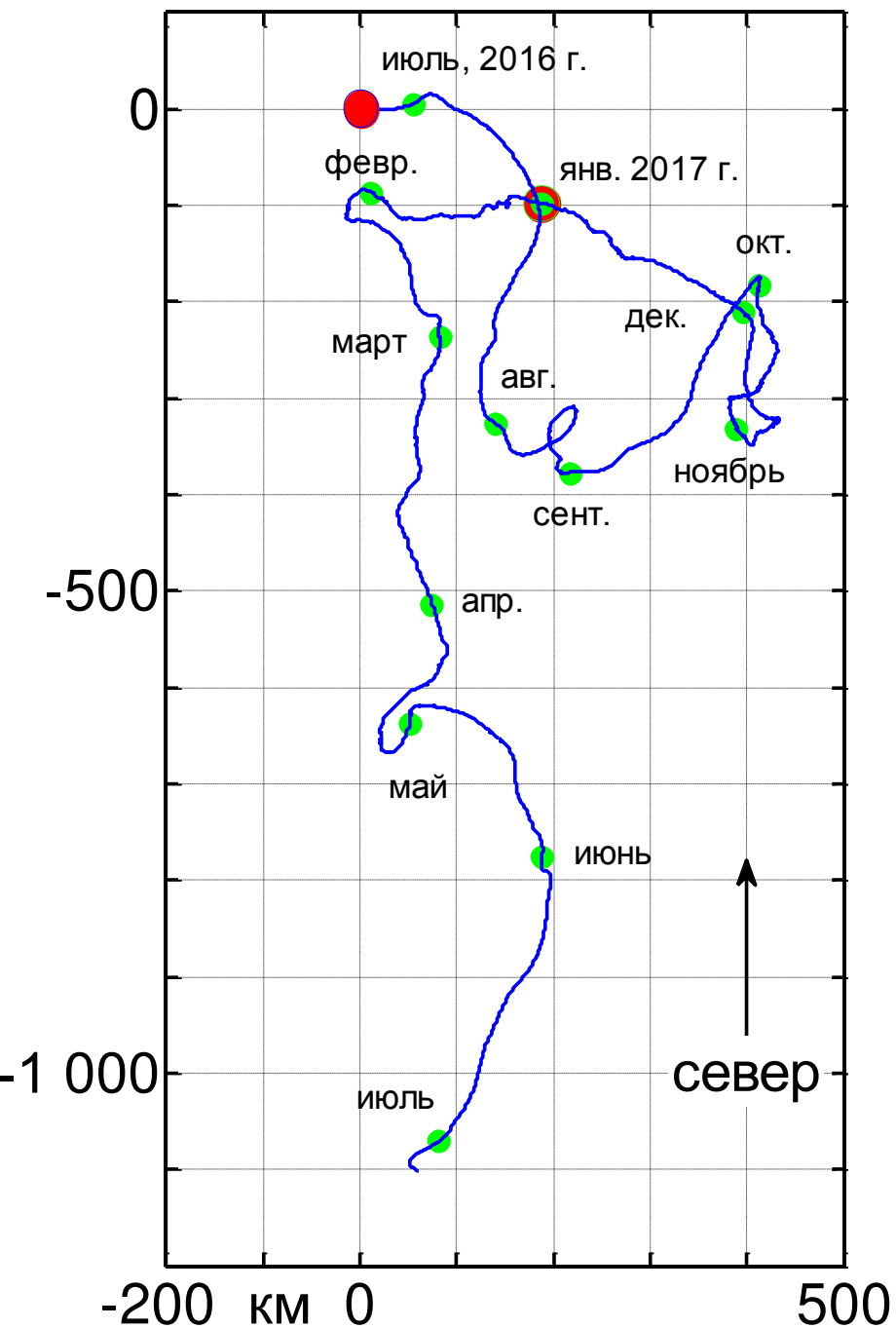


ст\_3562\_2183 м\_U\_V\_+  
AVISO



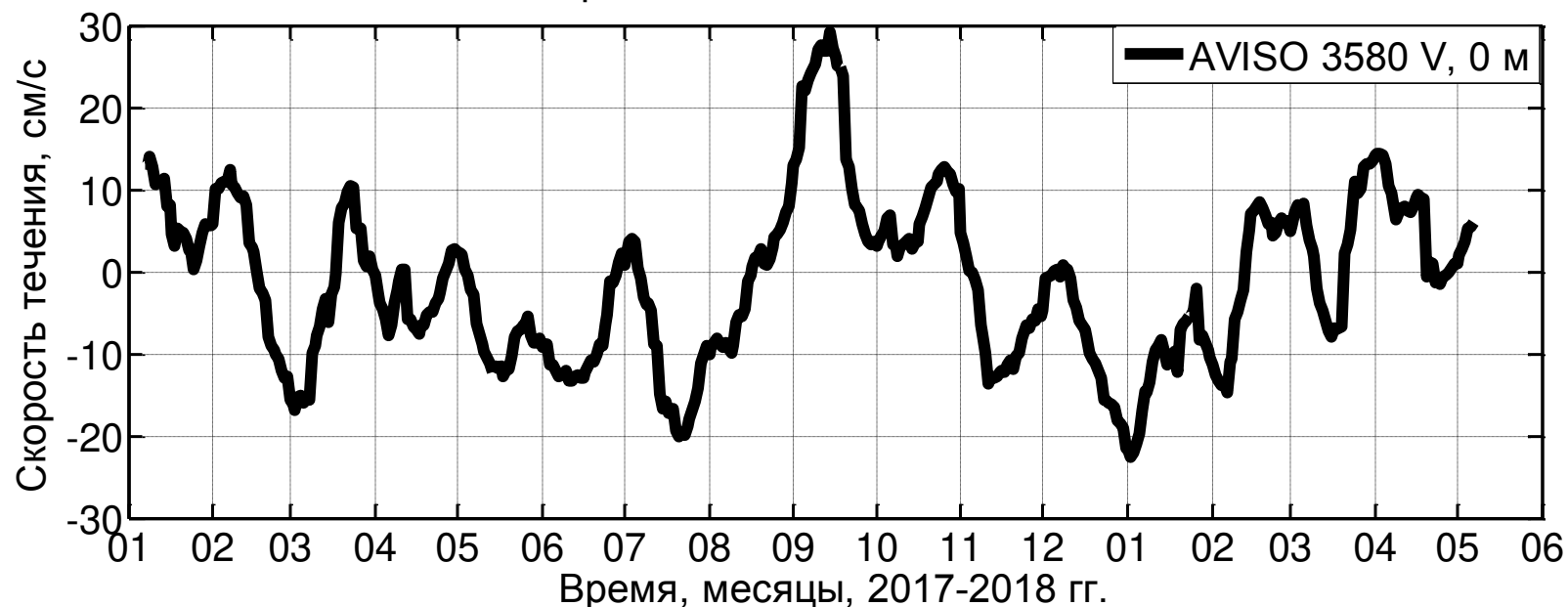
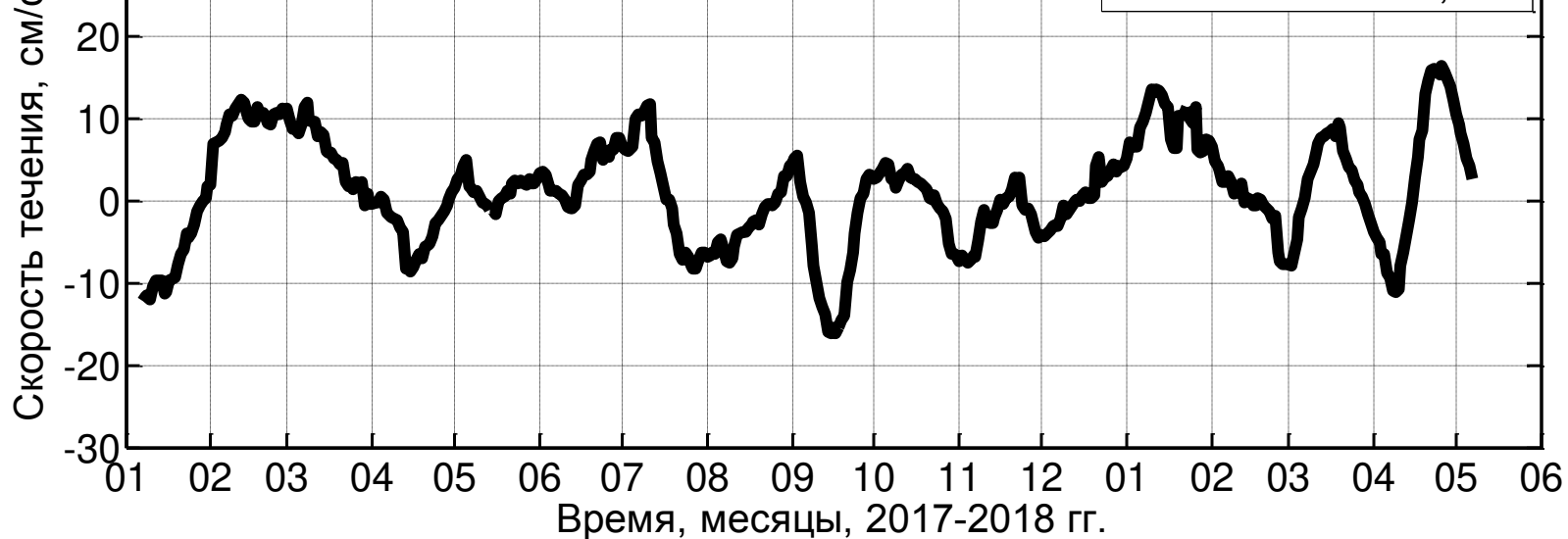


Ст.\_3540\_2175 м\_U\_V  
+ AVISO

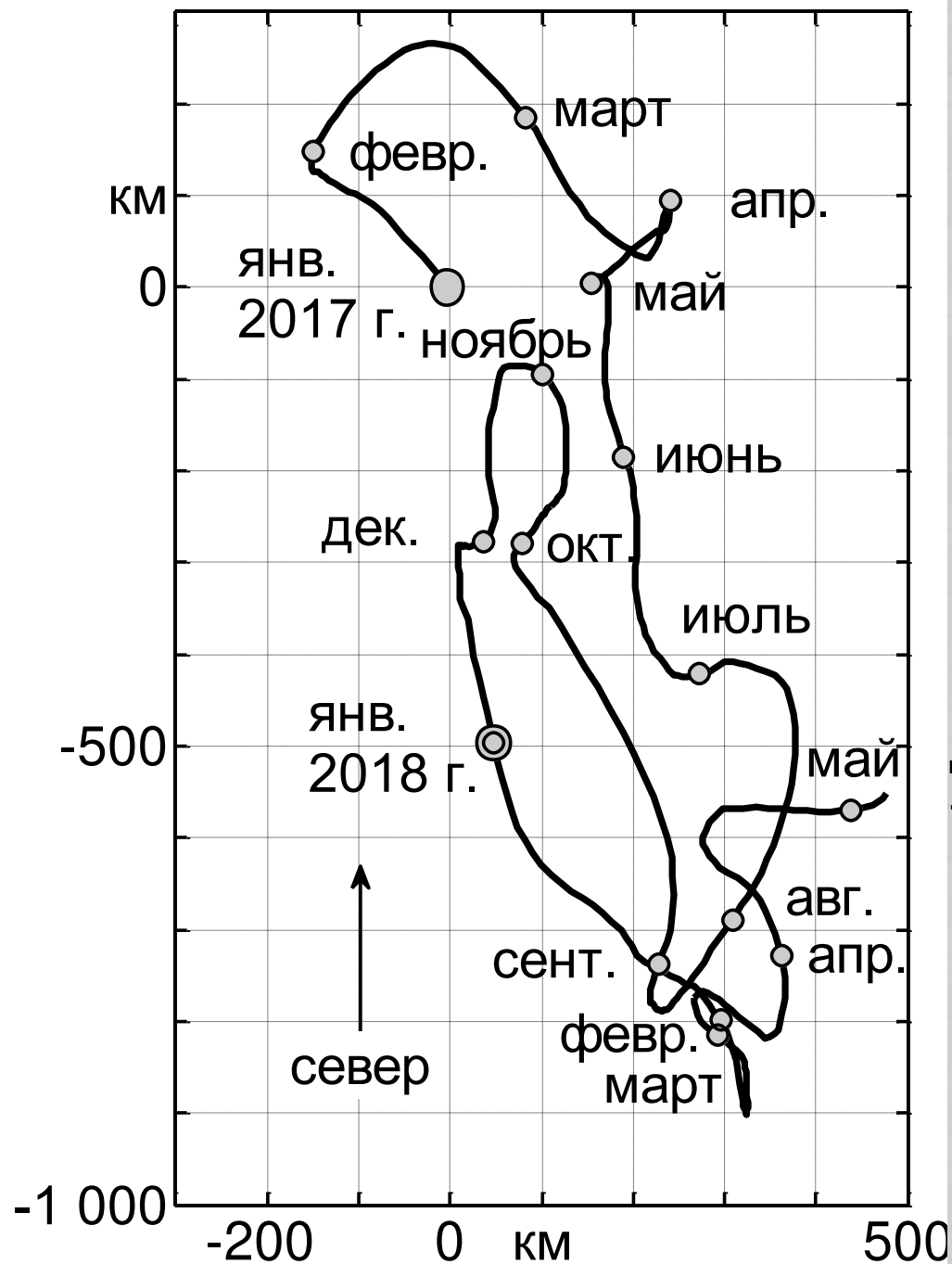


Прогрессивная векторная диаграмма течений ст. 3580, (глубина моря 2203 м), горизонт измерений 446 м.

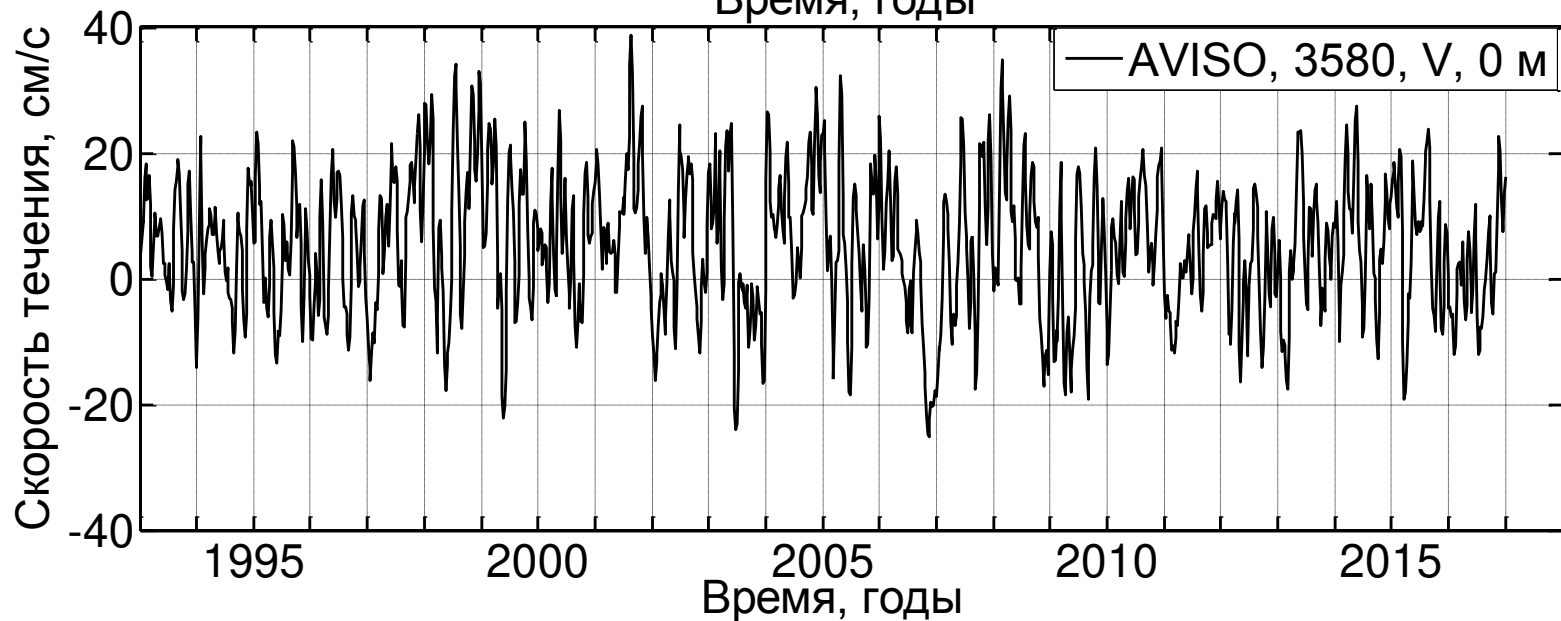
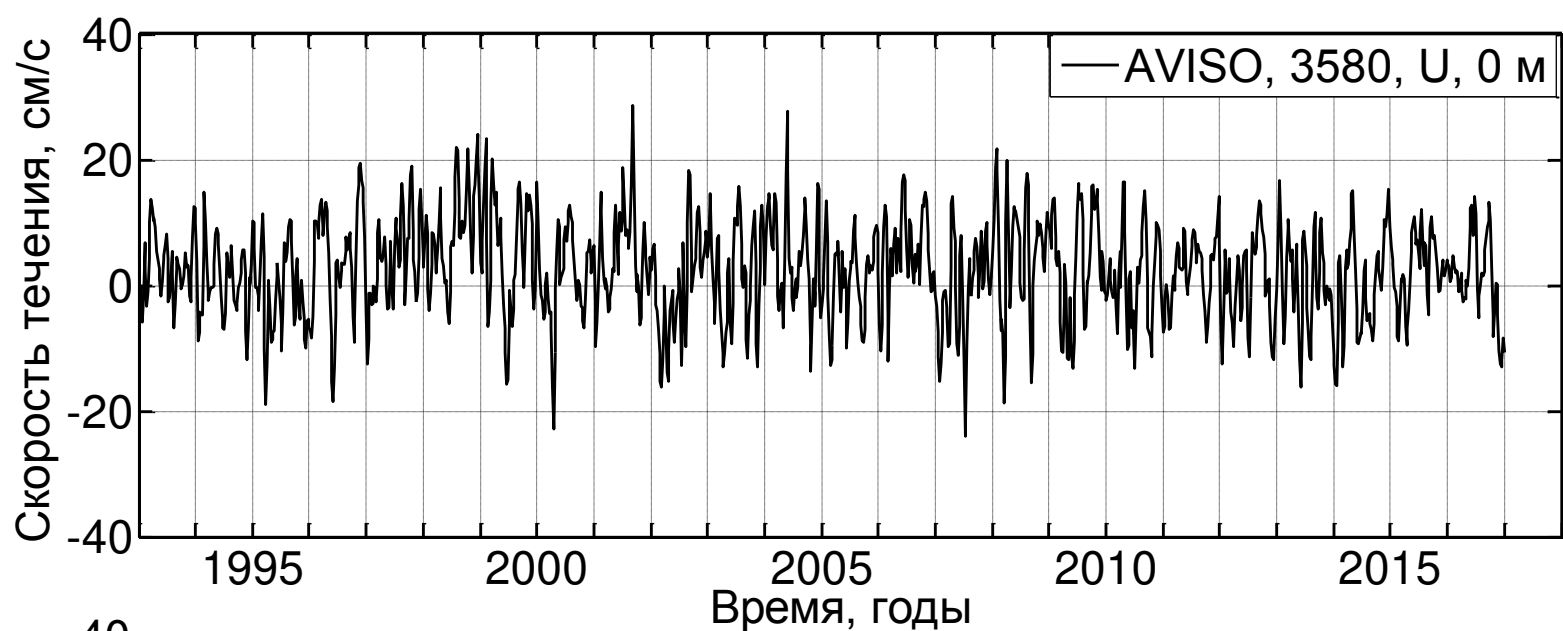
$\Delta t = 1$  час. = 0.0417 сут.,  
 $N = 9113$ , ( $59^{\circ}30.018'N$ ,  
 $32^{\circ}49.647'W$ ), Инерционный период  $T_i = 13.9271$  час.  
 25.06.2016, 0h 42m -  
 09.07.2017, 16h 42 m.



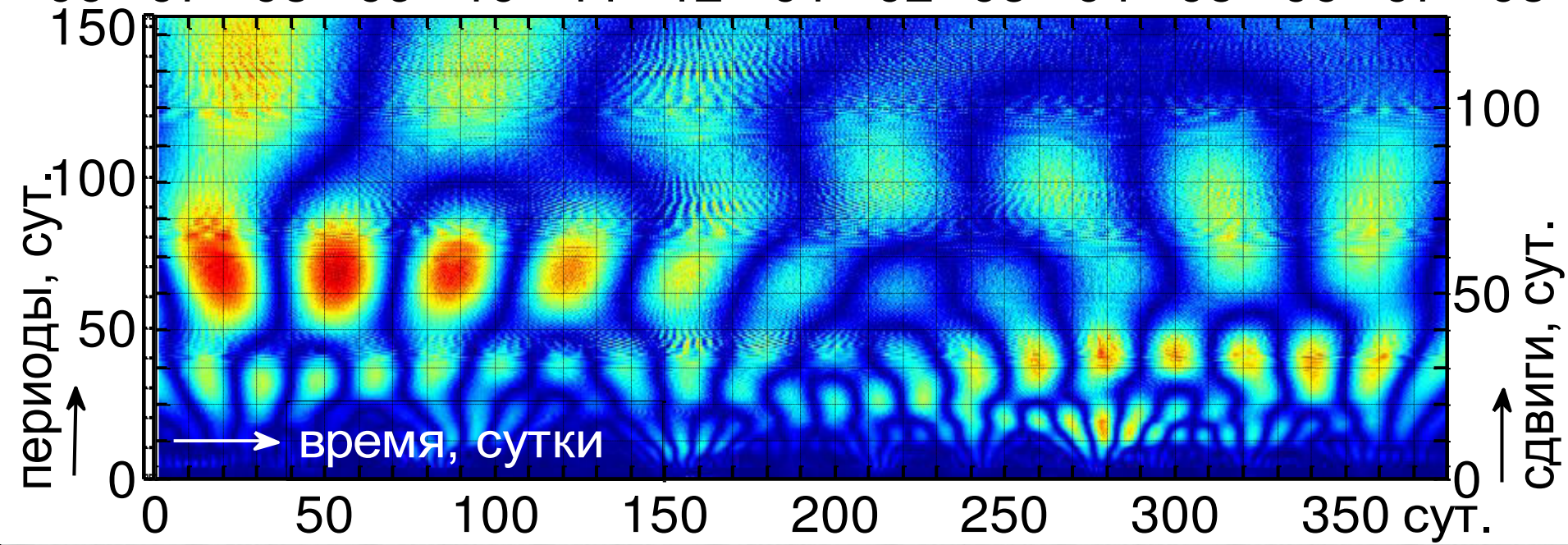
Скорости течений (баротропная компонента) по данным AVISO вблизи ст. 3580, в точке 59.,5 N, 32.8 W , с 07\_01\_2017\_ по 07\_05\_2018 .



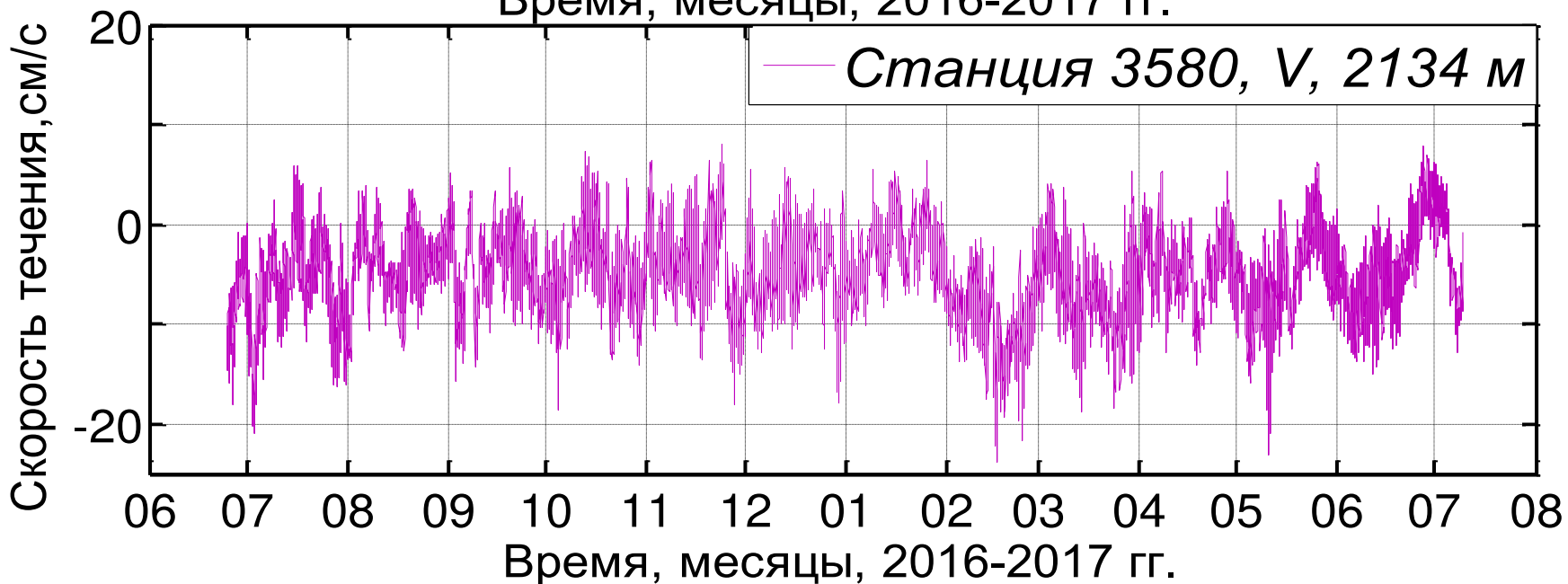
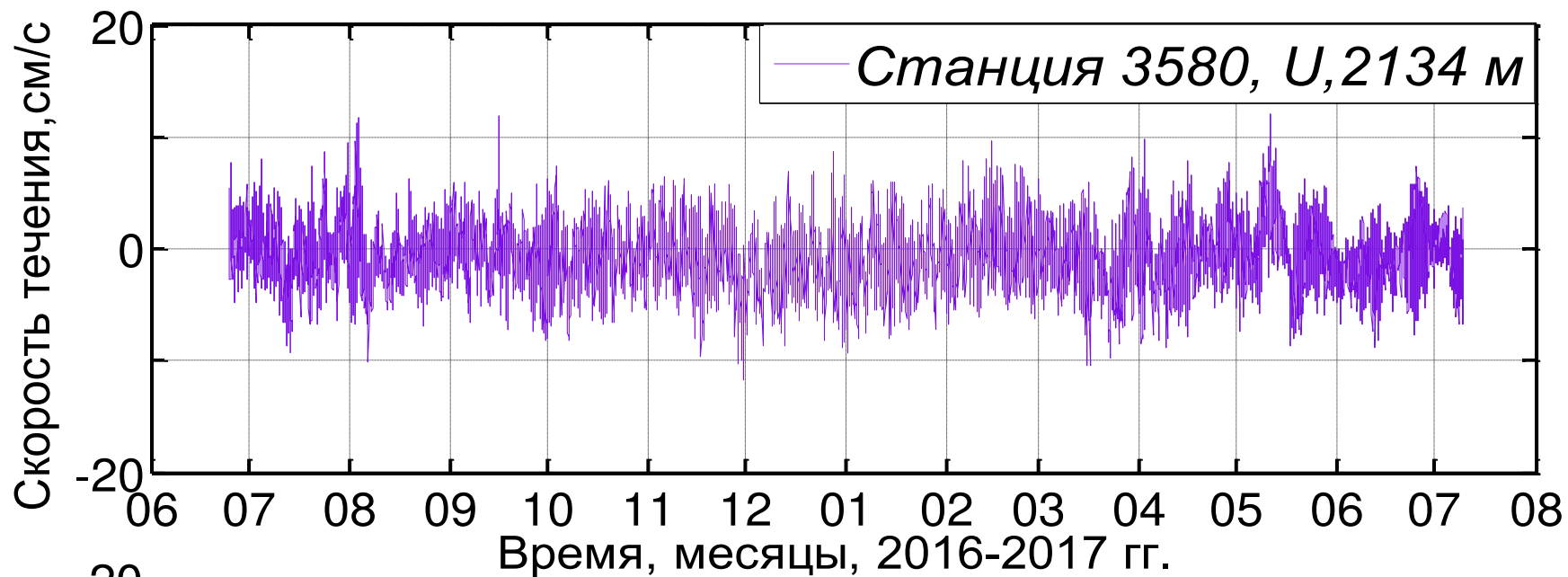
Прогрессивная векторная диаграмма геострофических течений на поверхности моря, по данным AVISO, вблизи ст. 3580, в точке 59.5 N, 32.8 W, с 07\_01\_2017 по 07\_05\_2018.



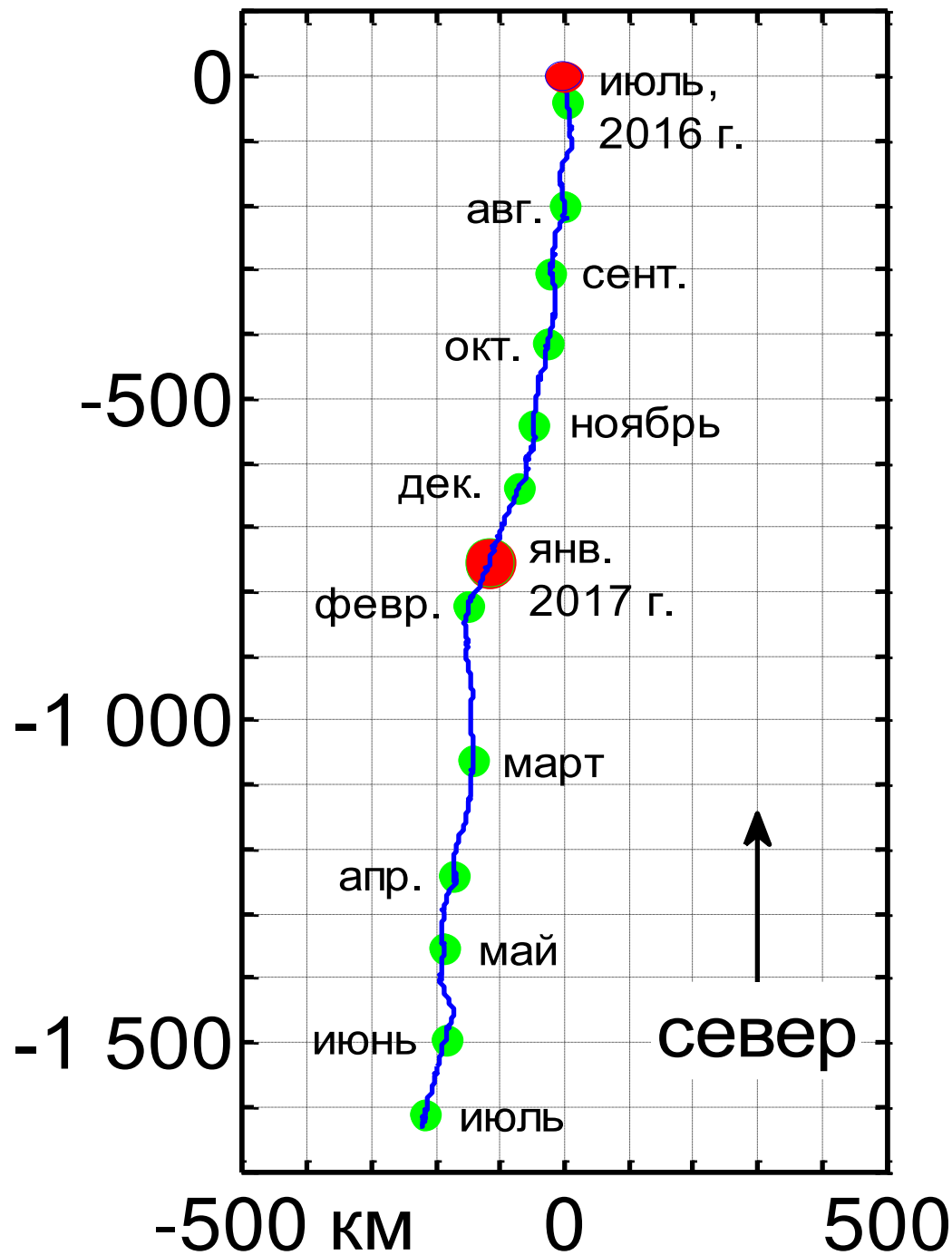
Скорости геострофических течений на поверхности моря (баротропная компонента течений) по данным AVISO вблизи ст. 3580, в точке 59,5 N, 32.8 W, в период 1993-2017 гг.



Вэйвлет-диаграмма изменений плотности кин. энергии на ст. 3580, гор. 446 м. (Иллюстрация «Удары в системе»!).

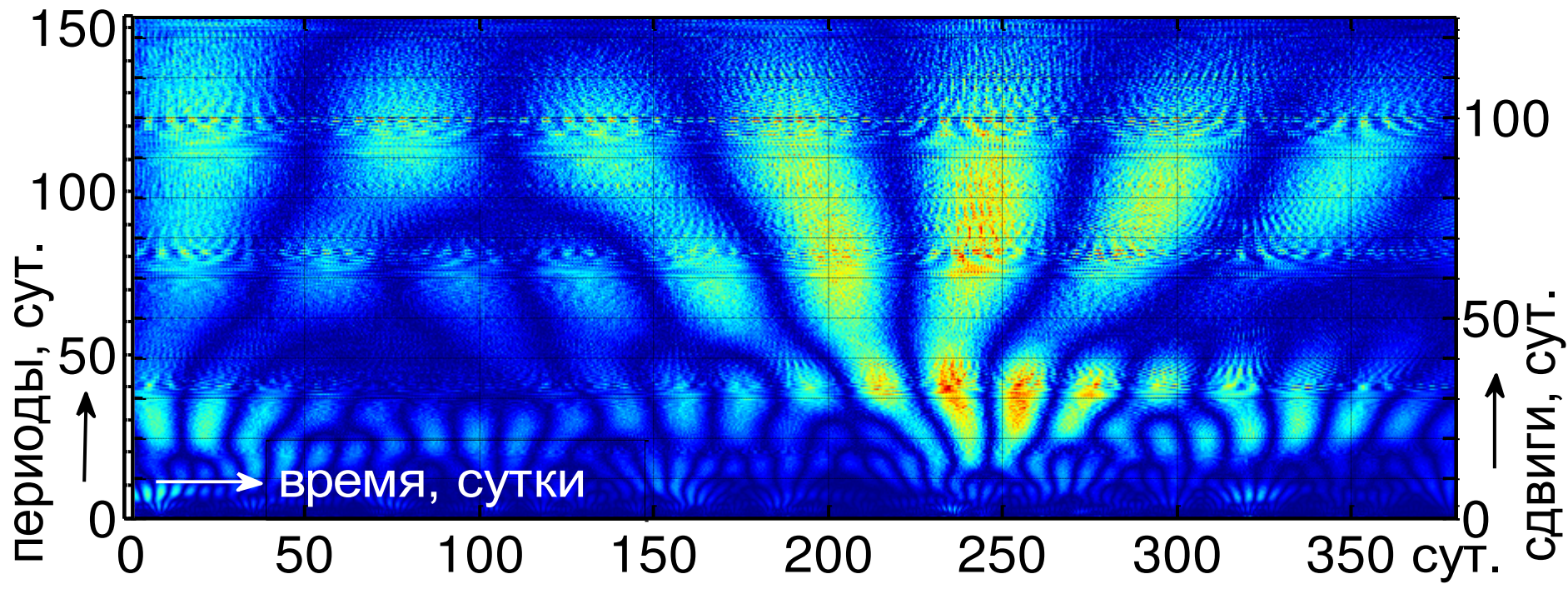


Ст. 3580, глубина 2203 м, горизонт измерений 2134 м.  
(59°30.018'N, 32°49.647'W), Dt=1 час., N=9116, Ti = 13.9271 час.

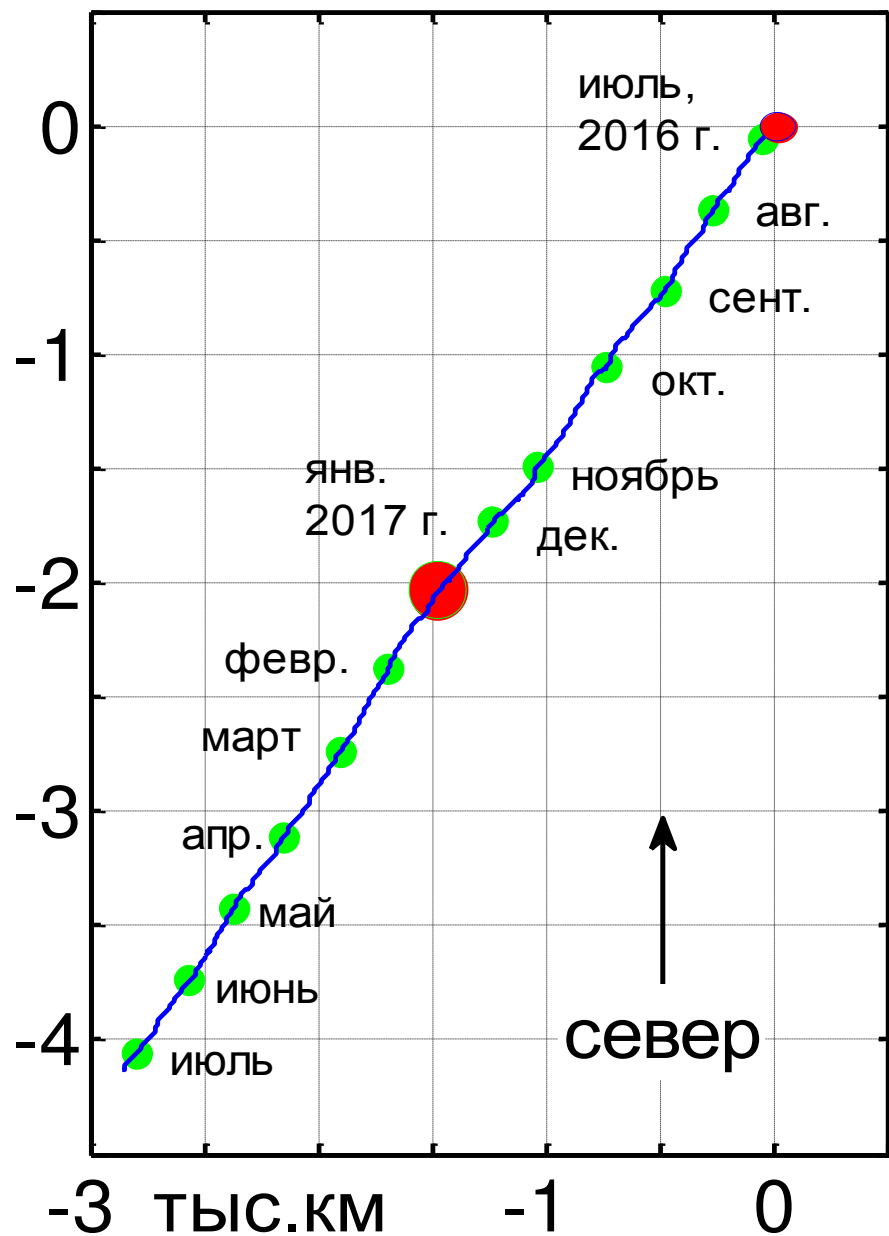
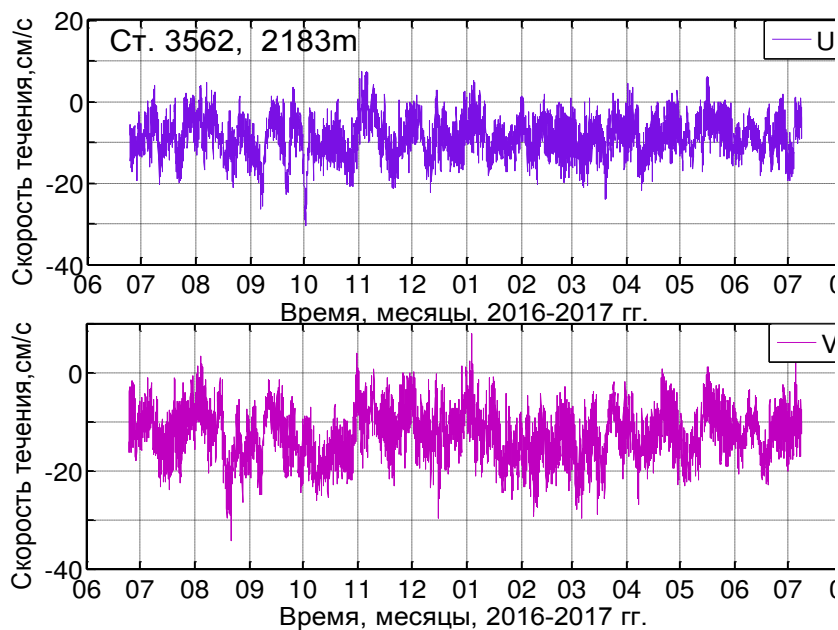


Ст. 3580, глубина 2203 м,  
горизонт измерений 2134 м.  
Dt=1 час., N=9116,  
(59°30.018'N, 32°49.647'W),  
Тинерц. = 13.9271 час.  
Время измерений:  
25.06.2016, 0h 21 m -  
09.07.2017, 19h 21 m

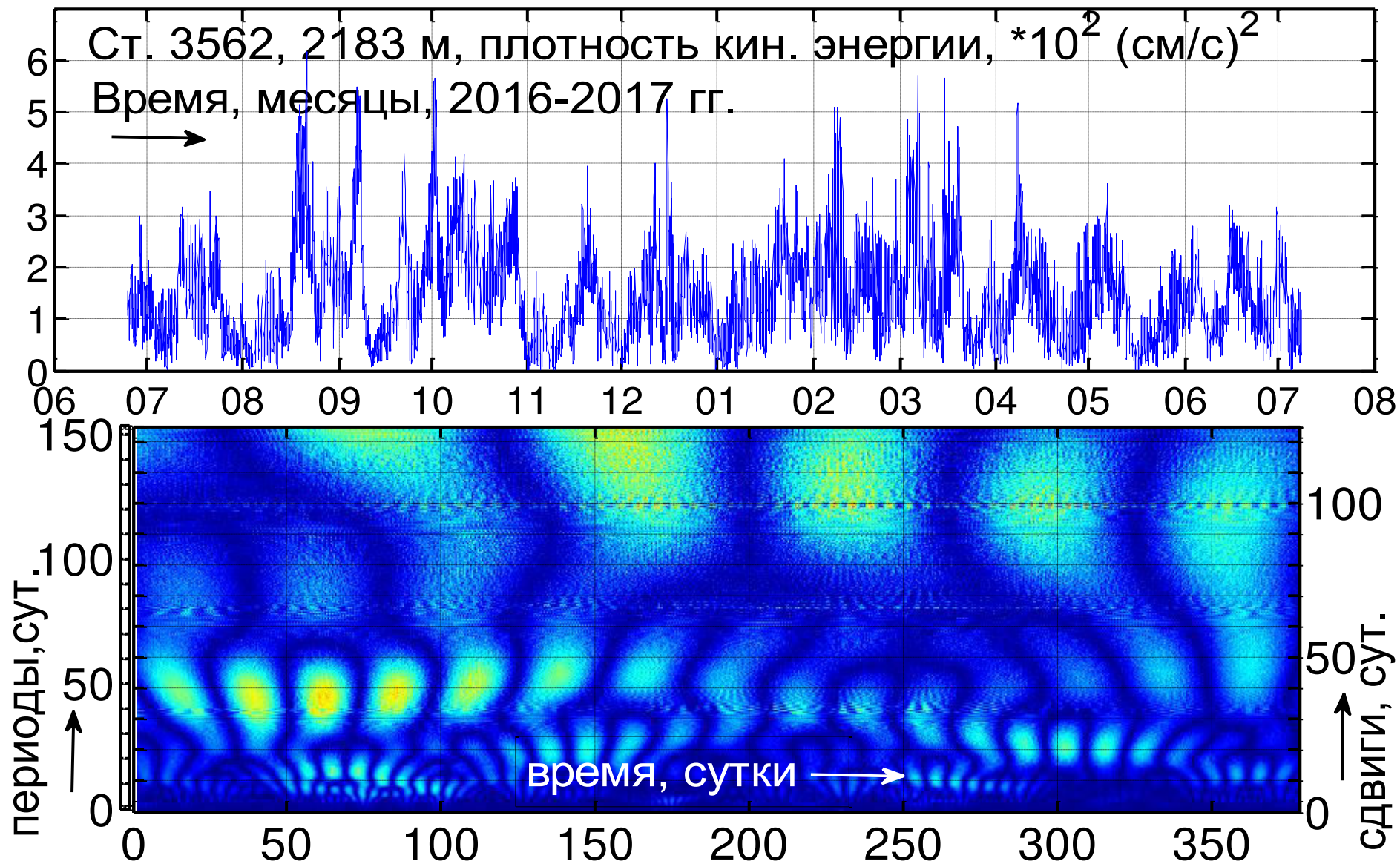




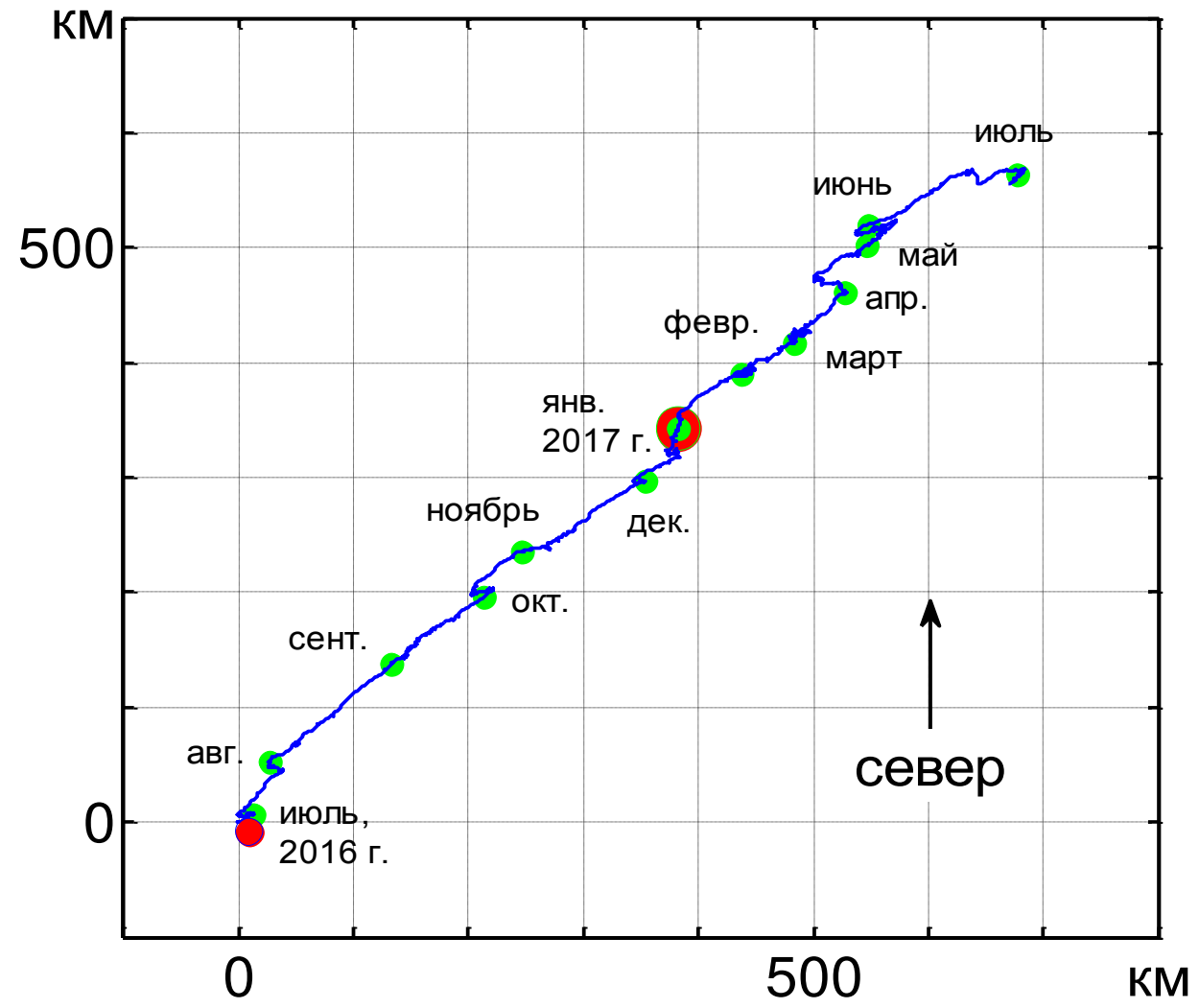
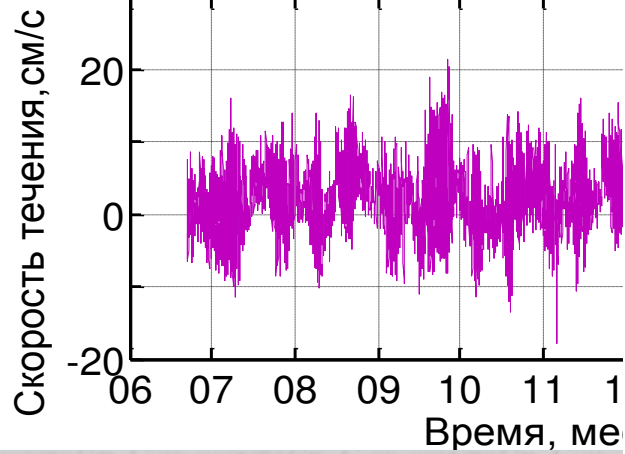
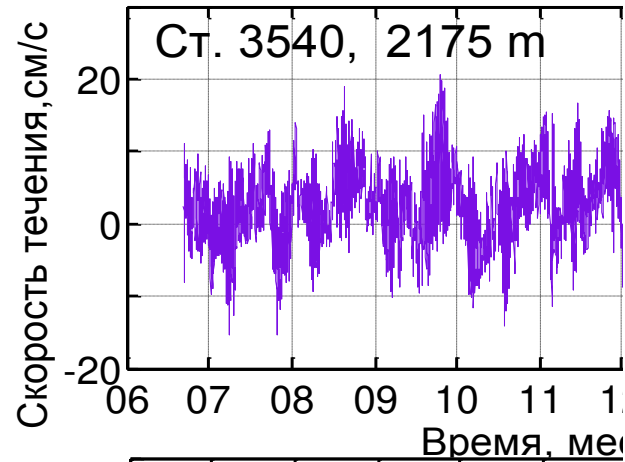
Вэйвлет-диаграмма изменений плотности кинетической энергии на ст.3580, гор.2134 м.



Ст. 3562, глубина  
океана 2237 м, гор.  
измерений 2183m,  
Dt=1 час. = 0.0417 сут.  
N=9085,59°29.791'N;  
26°39.821'W ;  
Тинерц. =13.9276 час.



Вэйвлет-диаграмма изменений плотности кинетической энергии  
на ст.3562, гор.2183 м.

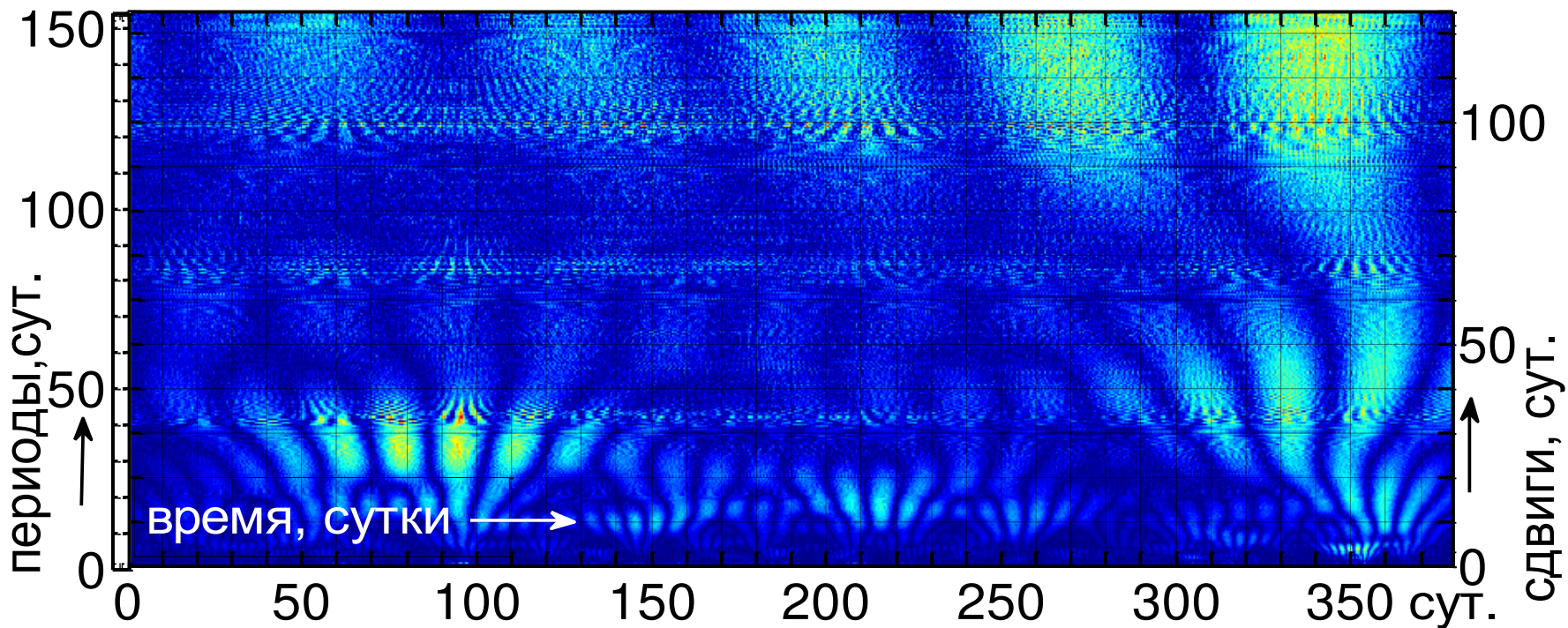
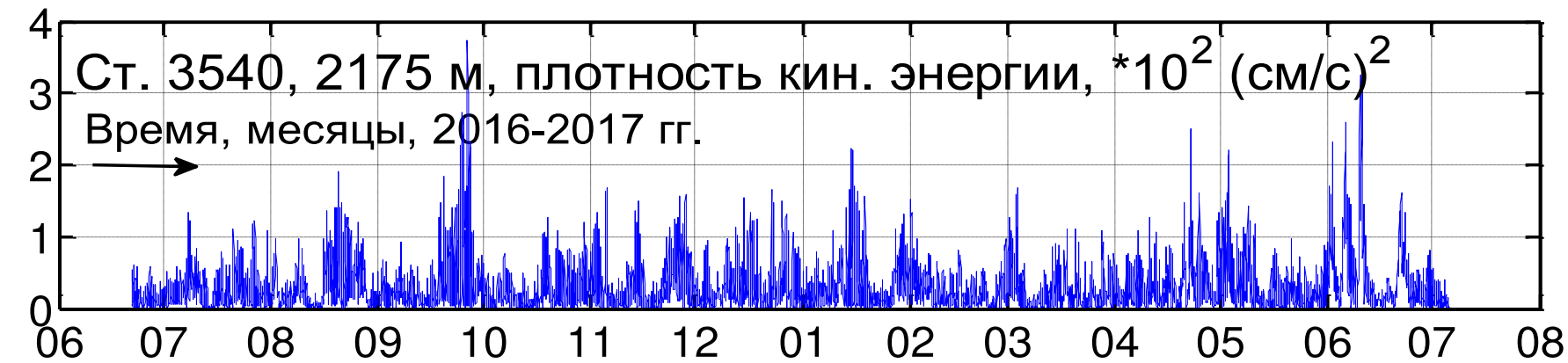


Ст. 3540, глубина – 2229 м, горизонт измерений 2175 м.

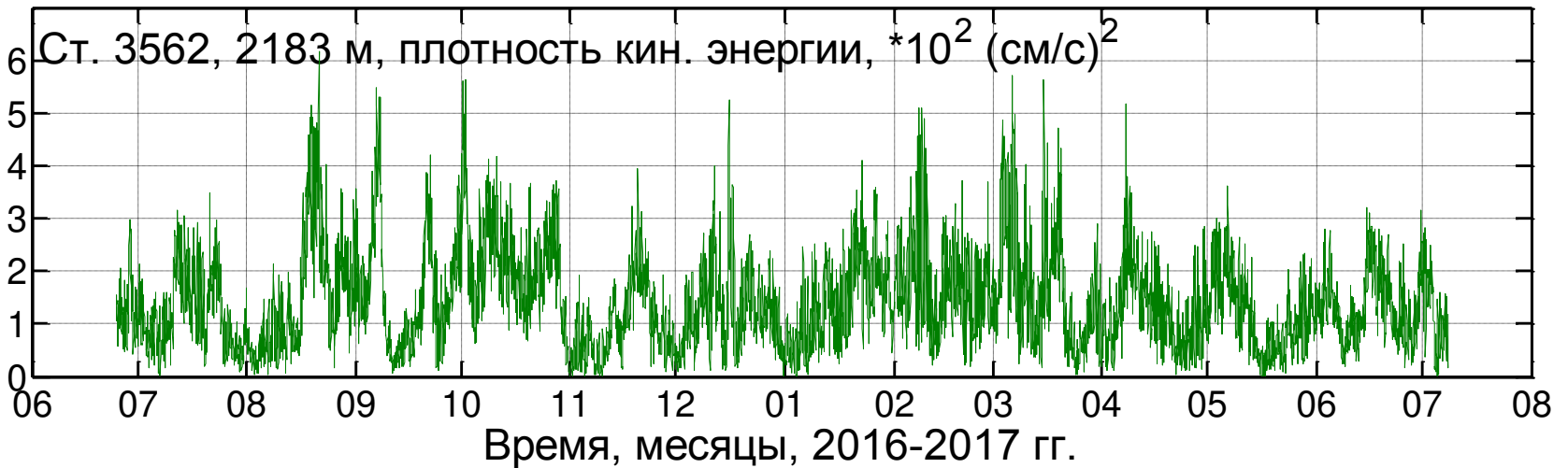
Dt=1 час. = 0.0417 сут. N=9095

59°30.045'N, 17°59.980'W, Ti =13.9270 час.

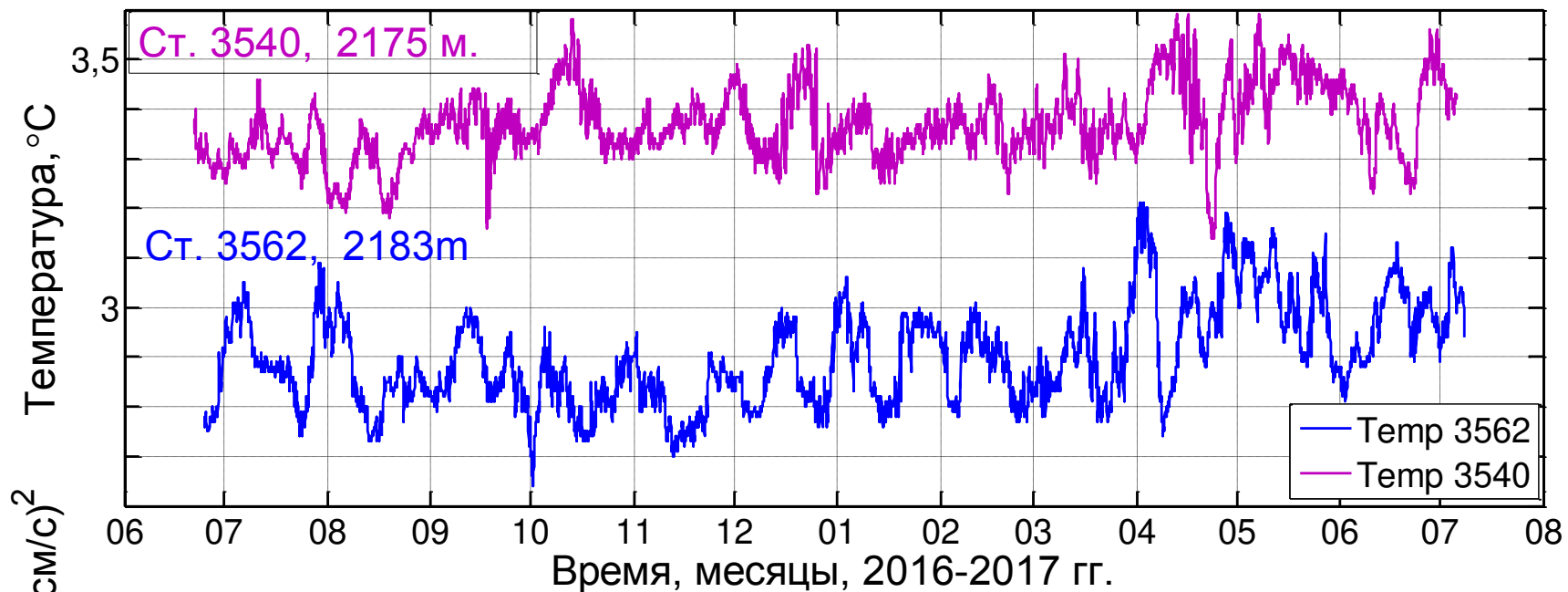
22.06.2016 0h 00 m - 05.07.2017 22h00m



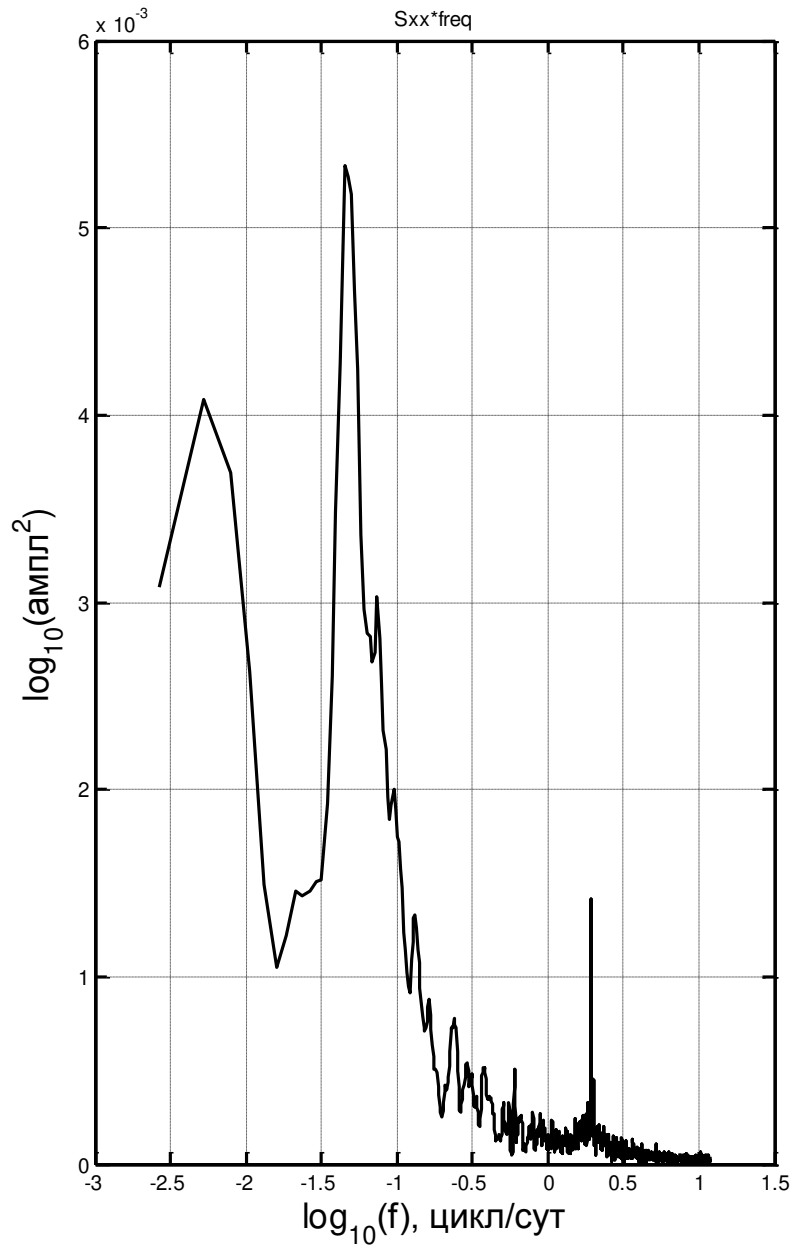
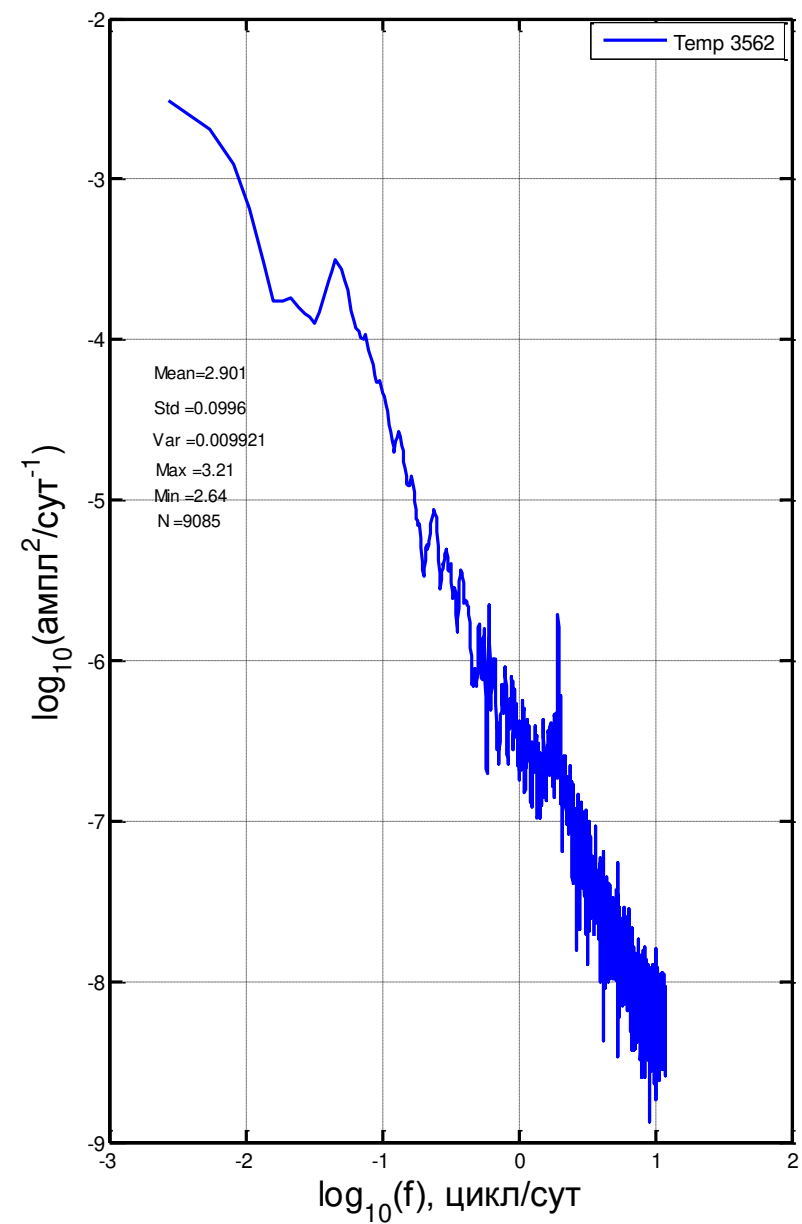
Вэйвлет-диаграмма изменений плотности кинетической энергии на ст. ст. 3540, гор. измерений 2175 м.



Ряды температуры и плотности кинетической энергии на ст. 3562, гор. 2183 м. Температура на ст. 3562, глубина океана 2237 м, гор. измерений 2183м. Dt=1 час. = 0.0417 сут., N=9085 59°29.791'N; 26°39.821'W ; T<sub>i</sub> =13.9276 час. 25.06.2016 0h 00 m - 08.07.2017 12h 00 m.



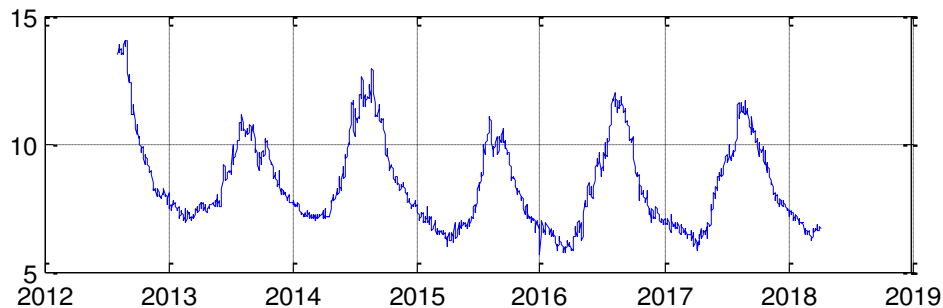
Ст. 3540, температура воды, глубина – 2229 м, горизонт измерений 2175 м, Dt=1 час., N=9095, 59°30.045'N, 17°59.980'W, Ti =13.9270 час.  
 22.06.2016 0h 00 m - 05.07.2017 22h00m .



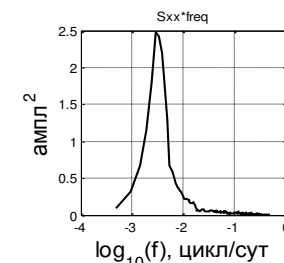
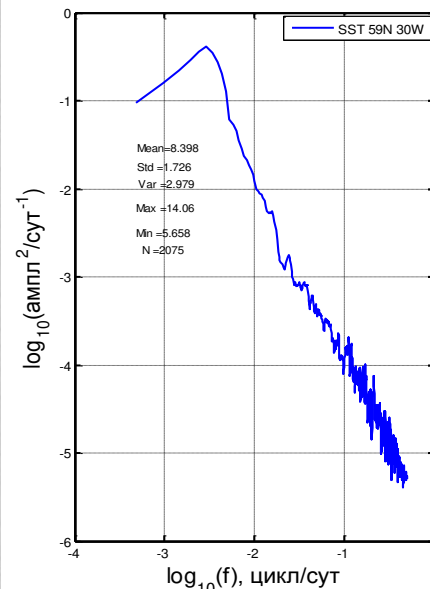
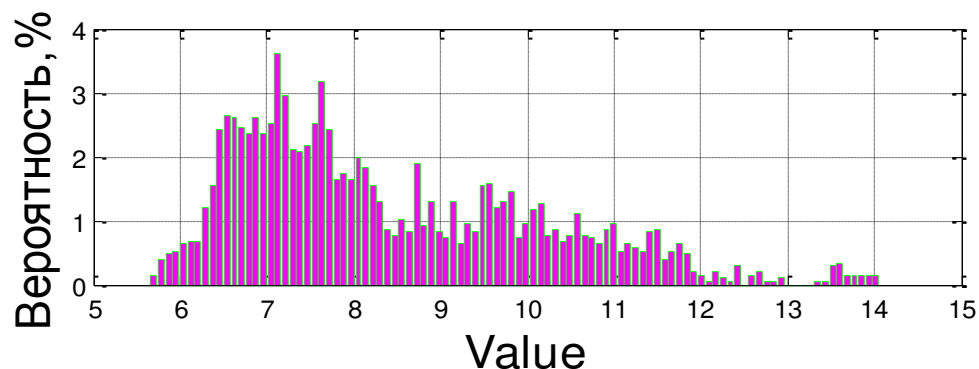
Спектры температуры на ст. 3562, гор. 2183 м,  
 Dt=1 час. = 0.0417 сут., N=9085.



## SST 59N 30W



Время, годы



Спектры температуры воды на поверхности моря вблизи ст. 3562.

Гистограмма температуры SST в координатах 59°N, 30°W

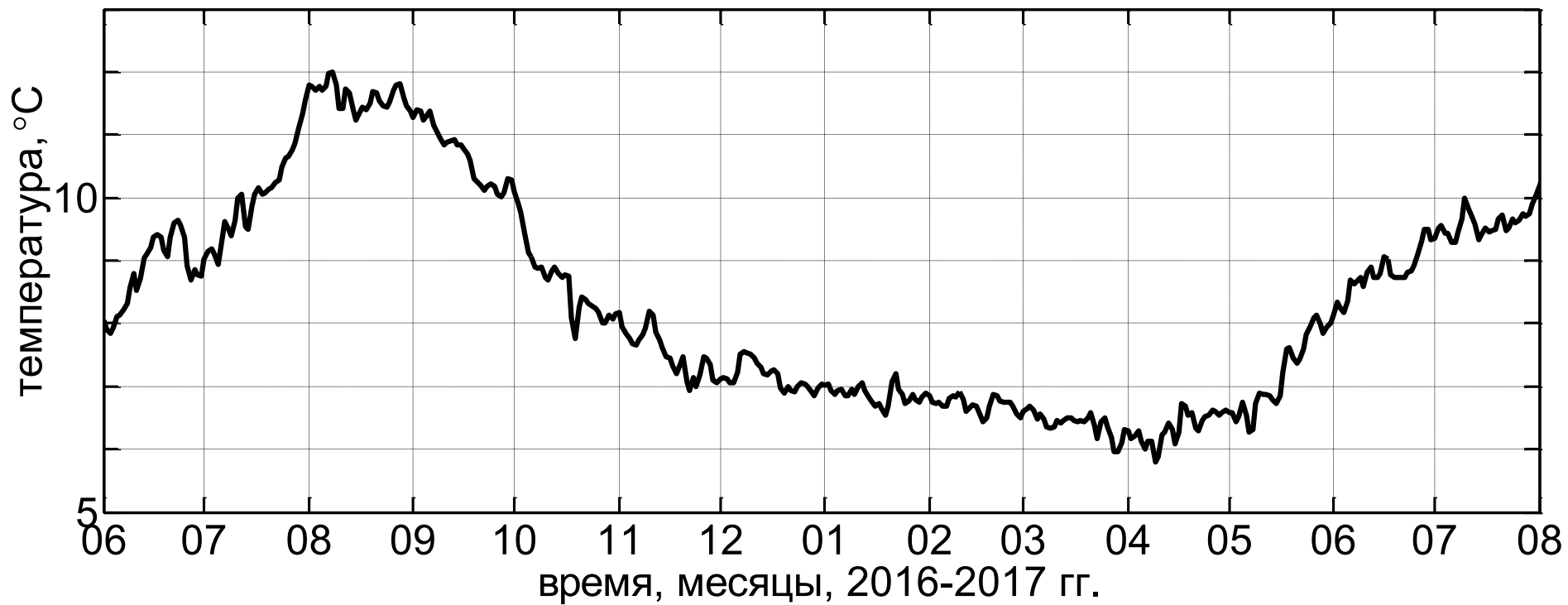
SST Temp, 59°N, 30°W сайт [ERDDAP - OceanWatch\\_goes-poes\\_sst\\_2day](#) (сравни ст. 3562, глубина океана 2237 м, гор. измерений 2183м, 59°29.791'N; 26°39.821'W ; )

DateBegin =[2012 08 05 00 00 00] DateEnd=[2018 04 10 00 00 00]

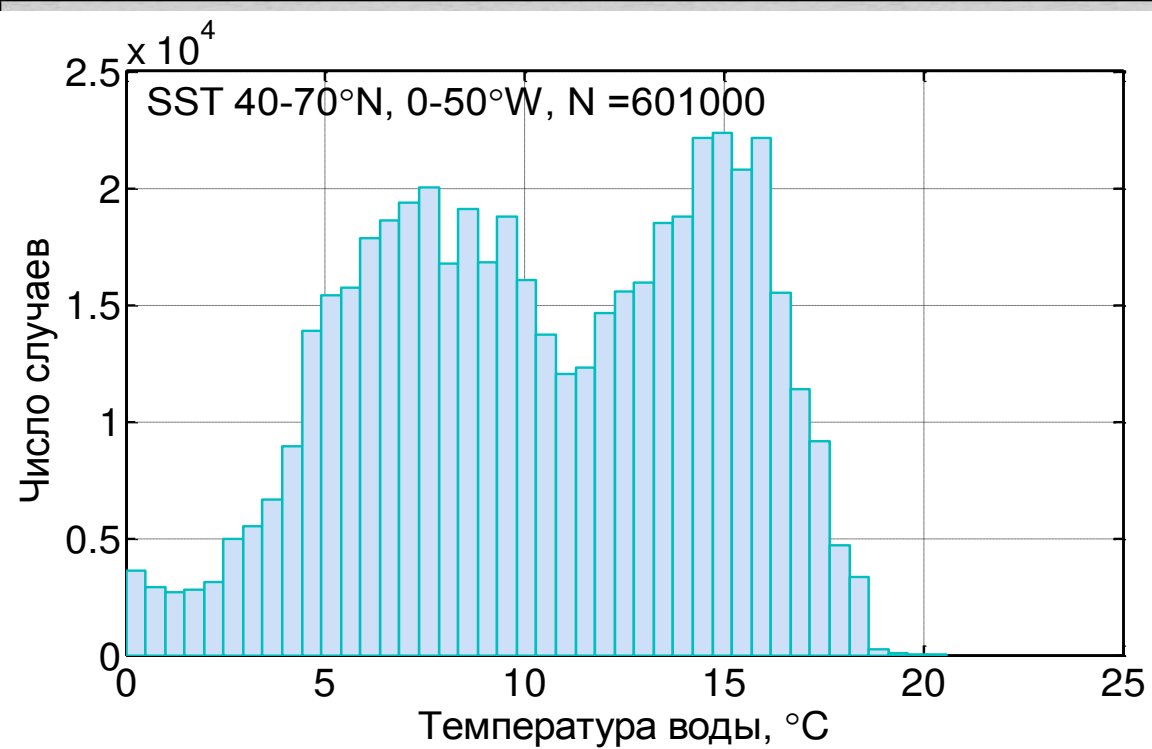
File SST\_59N\_330W\_2012\_08\_05\_2018\_04\_10\_interp

DT=1 day, N=2075.

(Gap ~ 17 days corrected by interp).

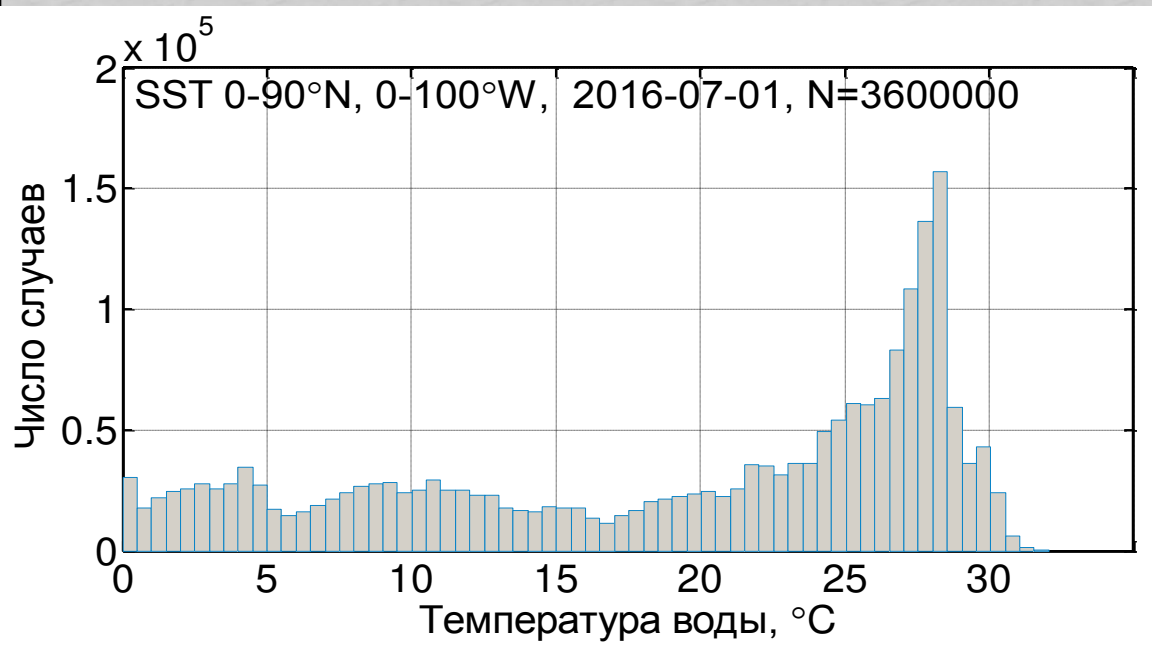


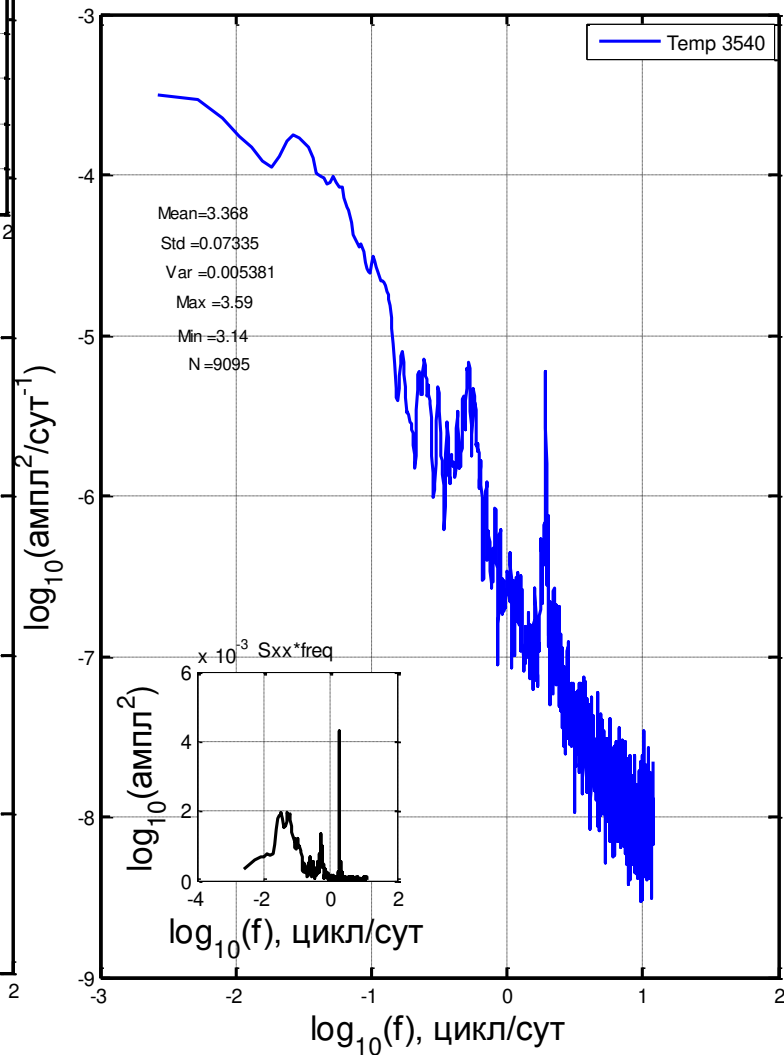
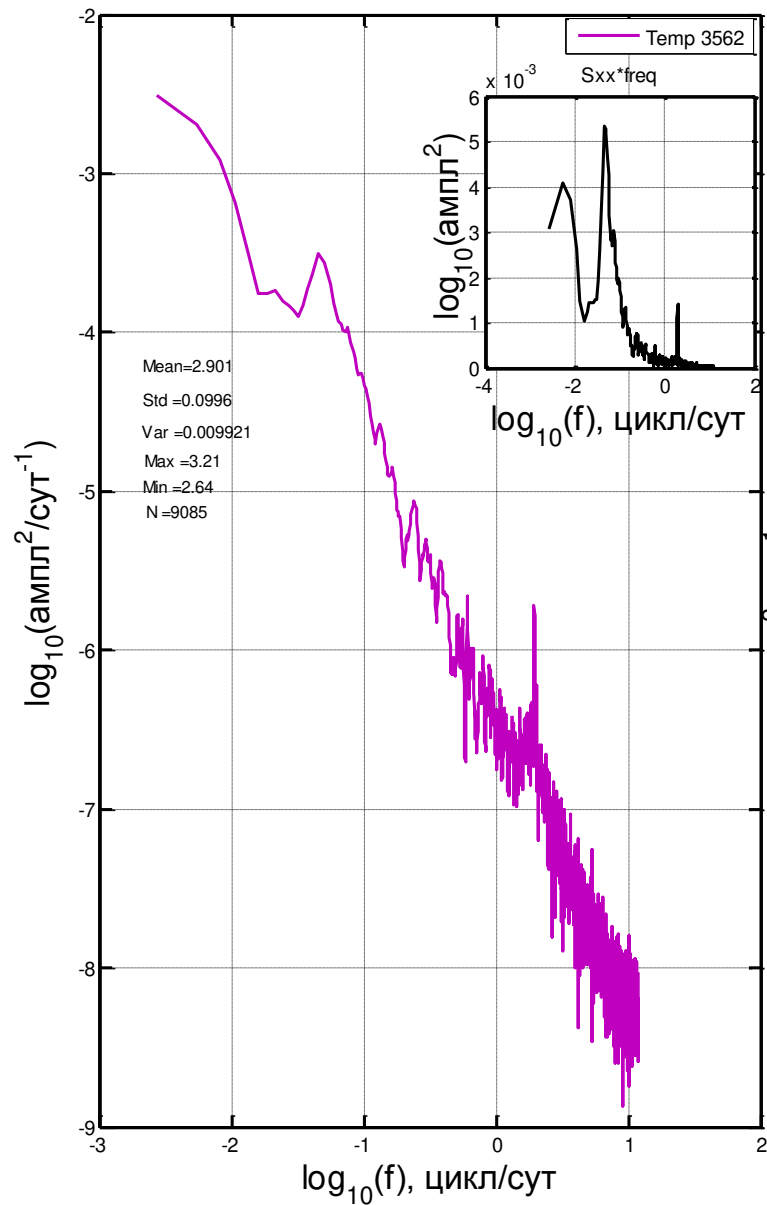
Спутниковая температура воды на поверхности моря,  
в координатах 59°N, 30°W.



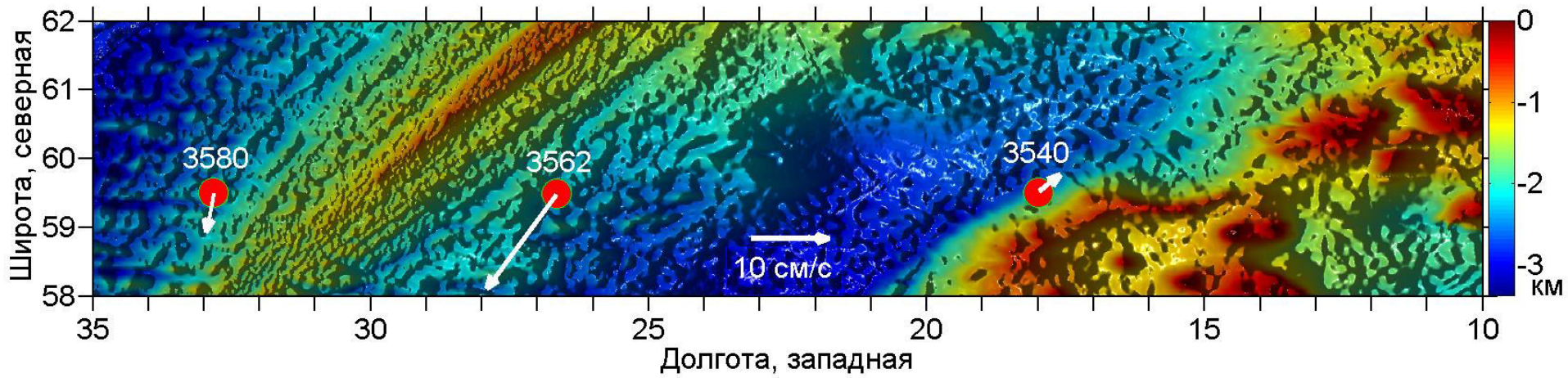
Гистограммы распределения SST летом 2016-07-01:  
 -в квадрате 40-70° с.ш., 0-50° з.д.  
 -в квадрате 0-90° с.ш., 0-100° з.д.

**Для сравнения:**  
 Колебания SST в координатах 59°N, 30°W в период 2012-2018 гг. составляют по ско 1.726°C, при средней температуре 8.399°C.

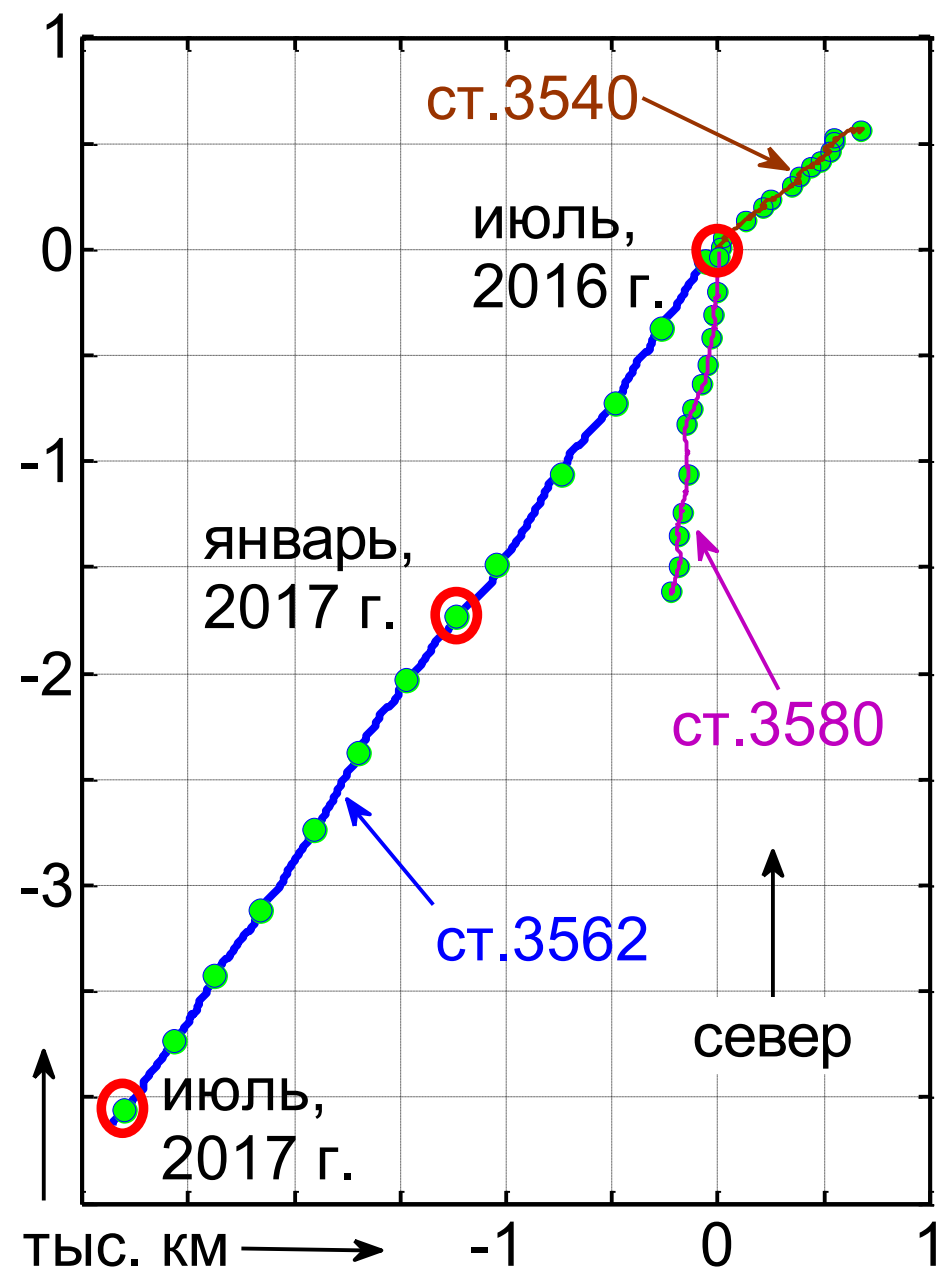
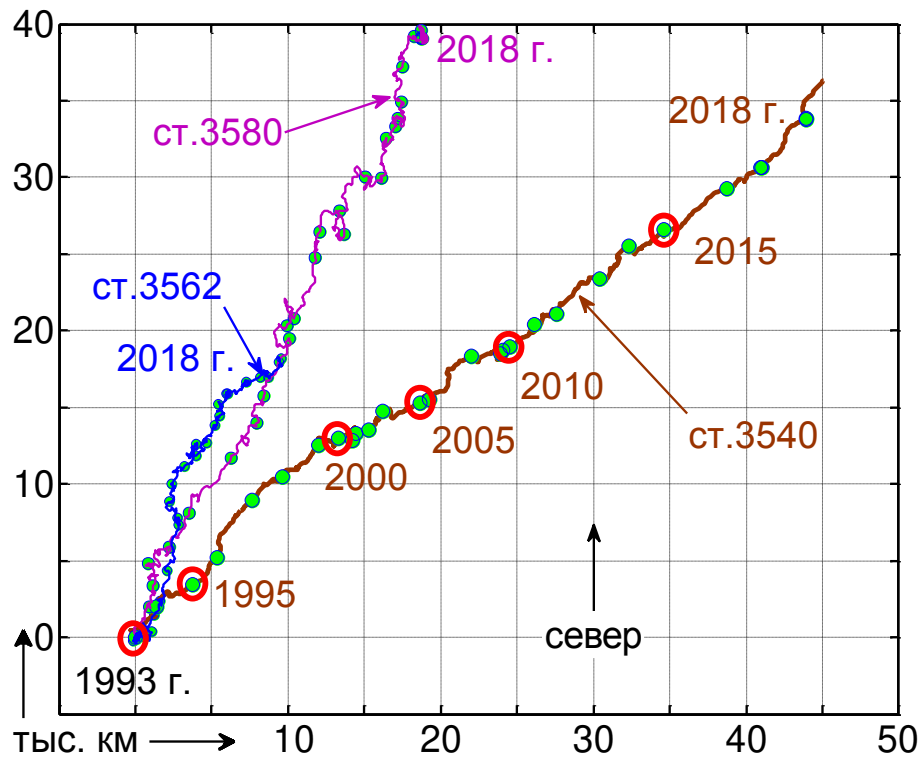




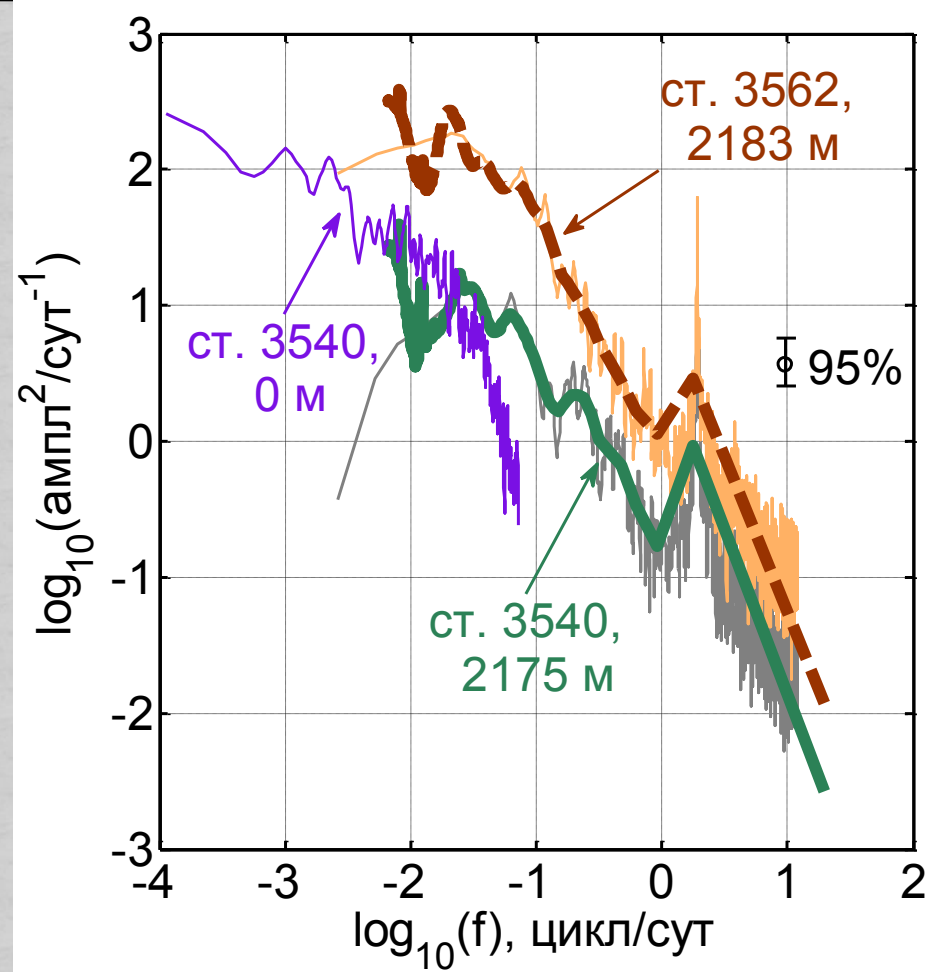
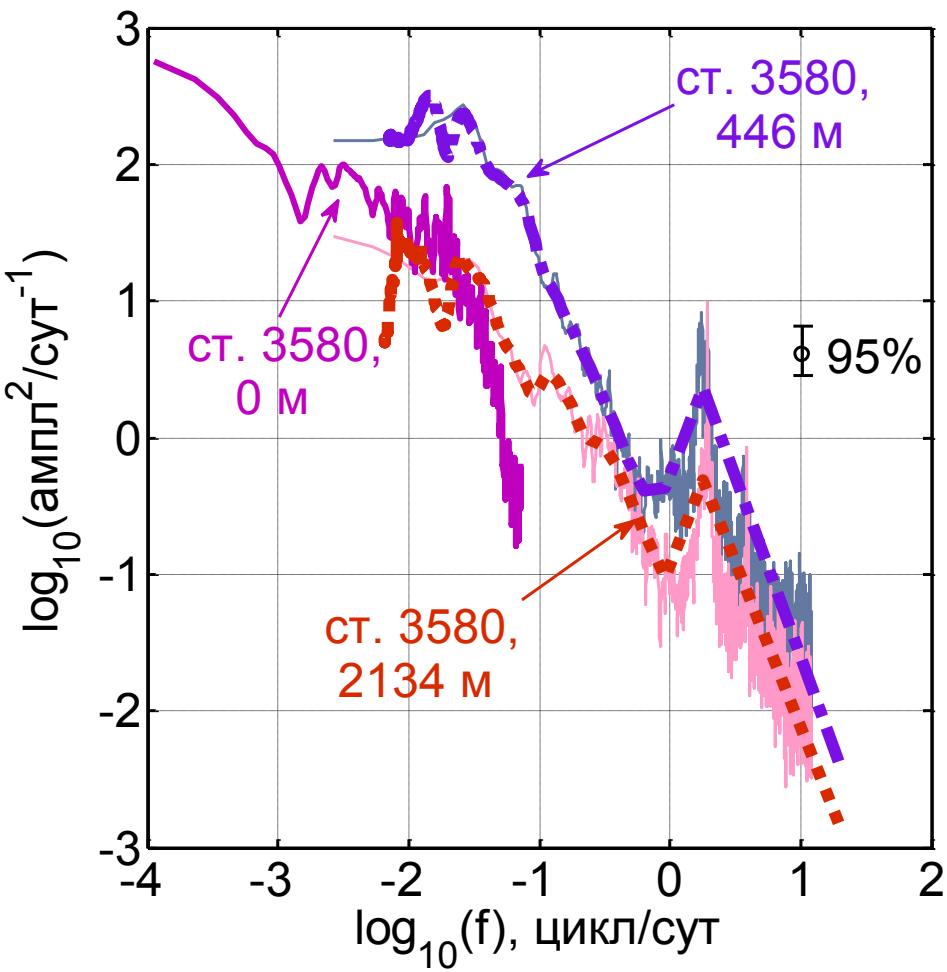
Спектры температуры на ст. 3562, гор. 2183 м, (слева) и ст. 3540, гор. 2175 м (справа).



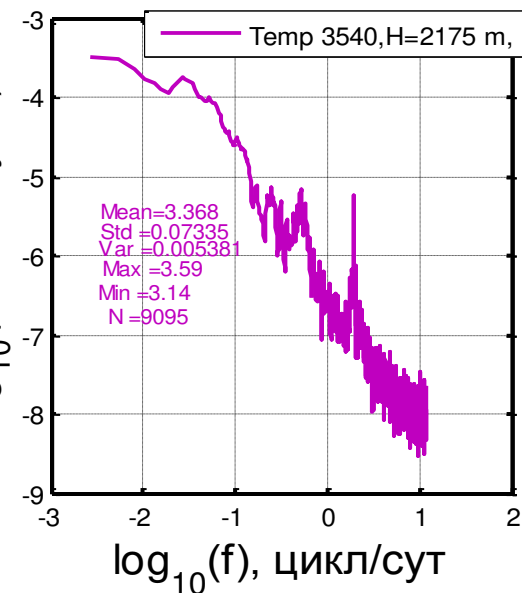
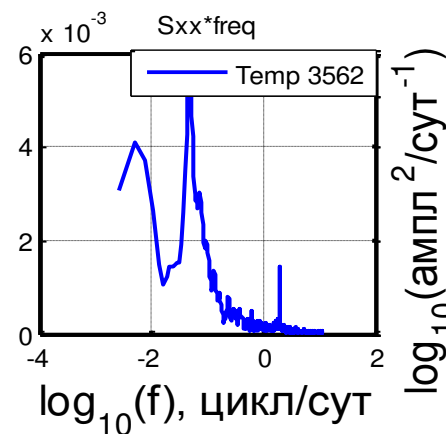
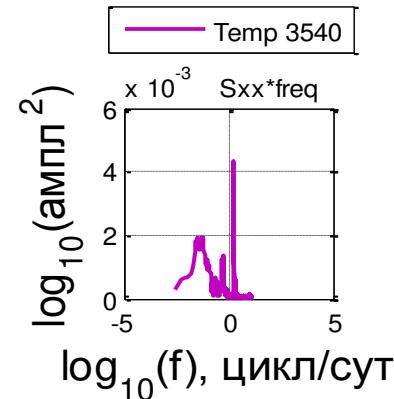
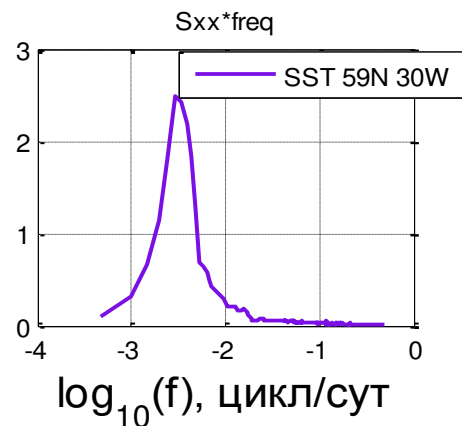
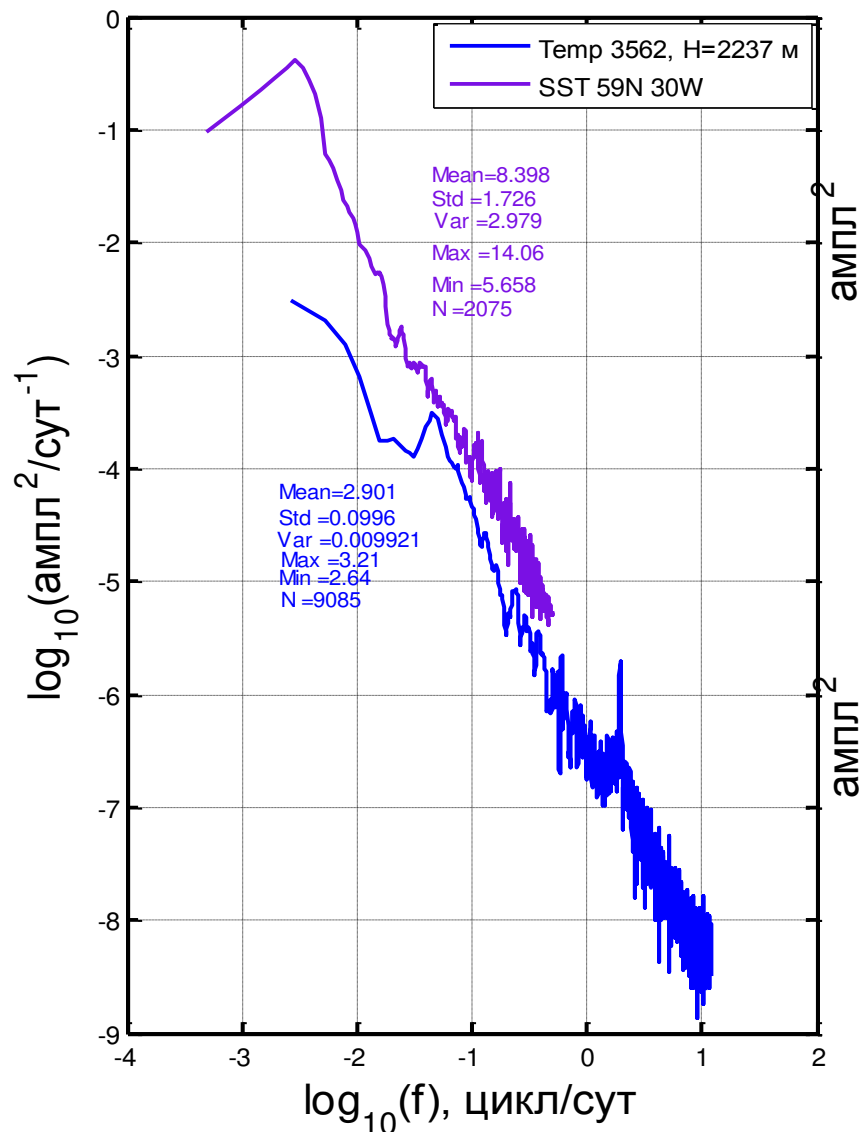
Положение станций.



Прогрессивные векторные диаграммы геострофических течений на поверхности моря по данным AVISO-слева; придонных течений по измерениям *in situ*—справа. Ст. 3580, горизонт 2134 м; ст.3562 - 2183 м; ст. 3540 – 2175 м; глубины моря 2229, 2237, 2229 м, соответственно.



Спектры плотности кинетической энергии течений около дна и на поверхности моря, на станциях 3580, 3562 и 3540. Тонкие линии – Фурье спектры. Утолщённые линии – вэйвлет-плотность.



Спектры температуры на ст. 3562, гор. 2183 м, SST ( в координатах 59°N, 30°W) (слева) и ст. 3540, гор. 2175 м (справа).



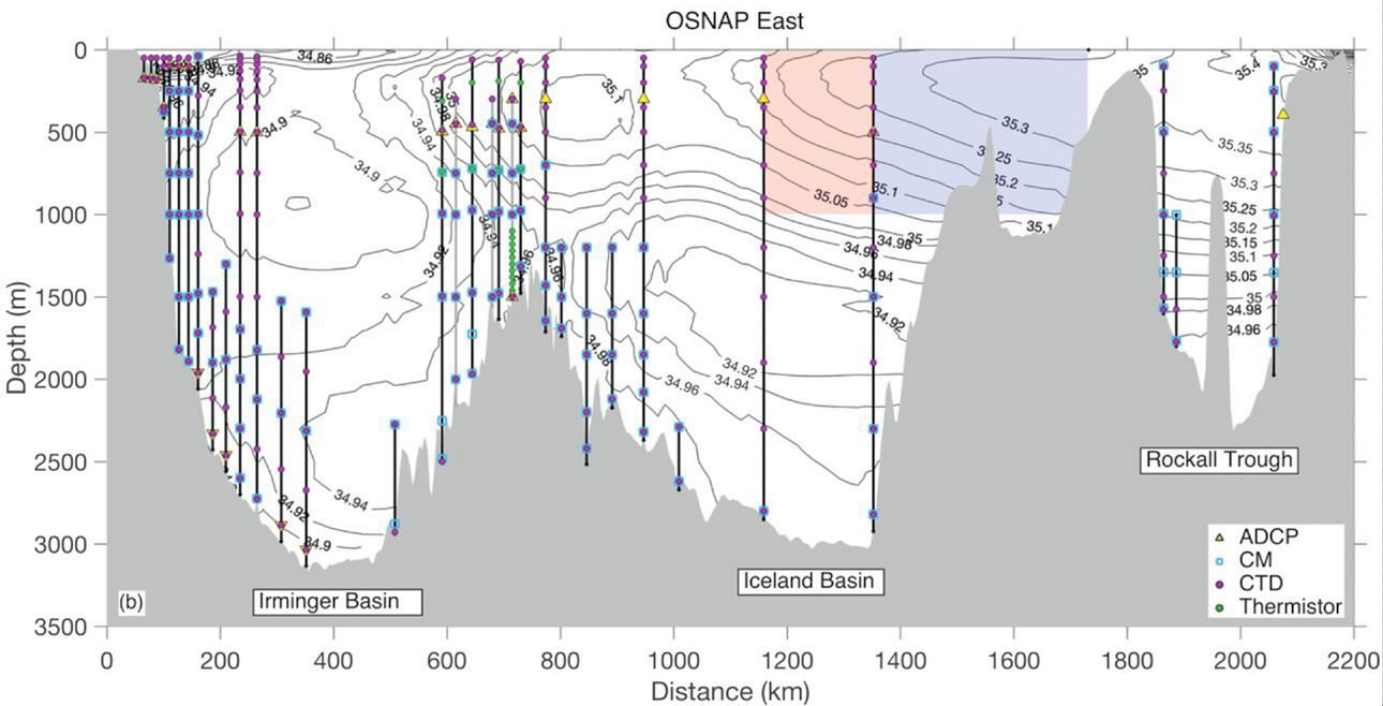
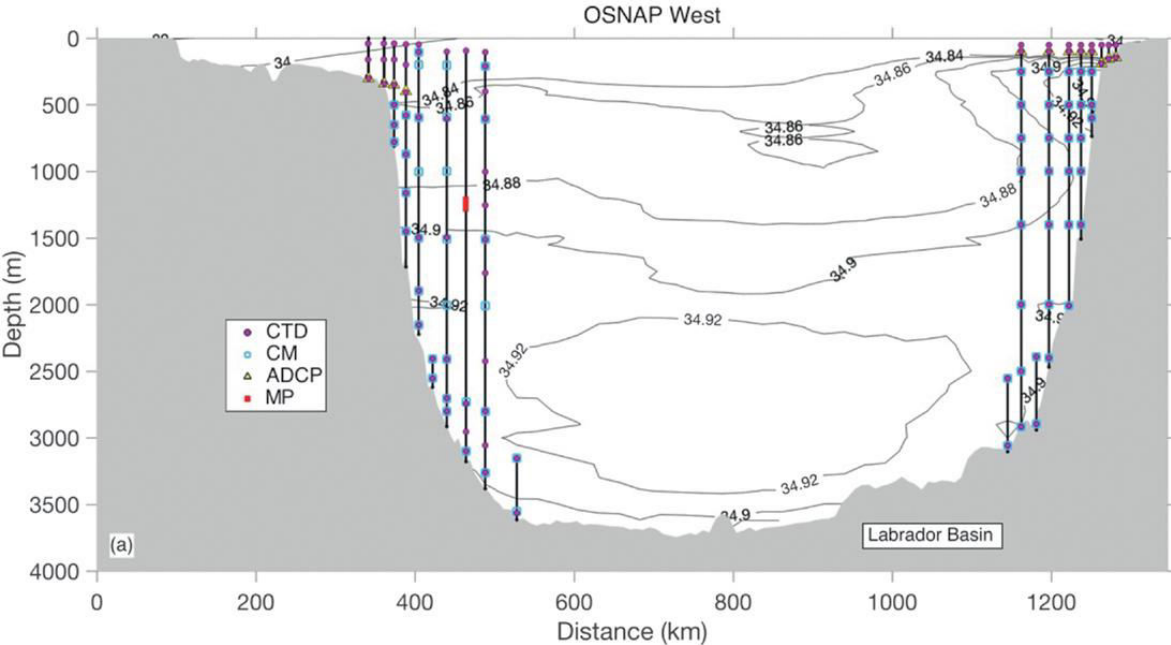
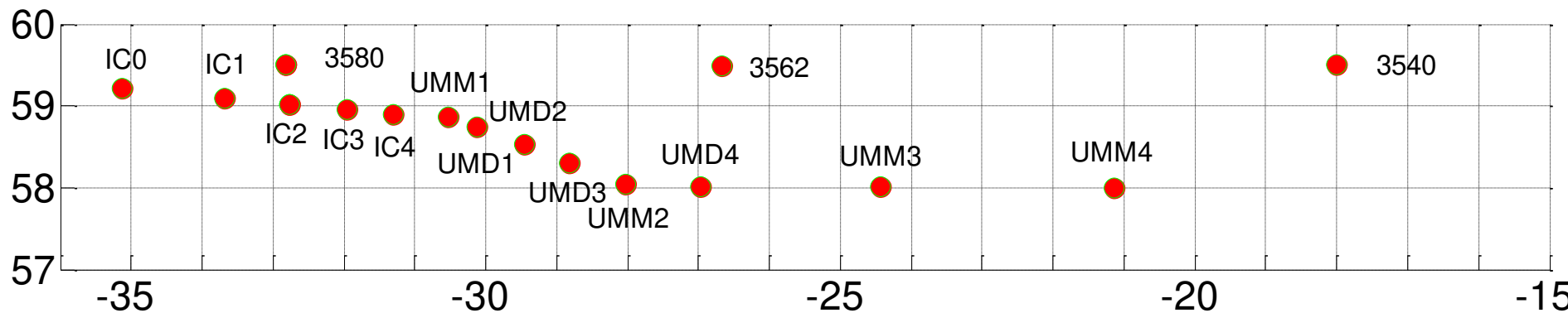
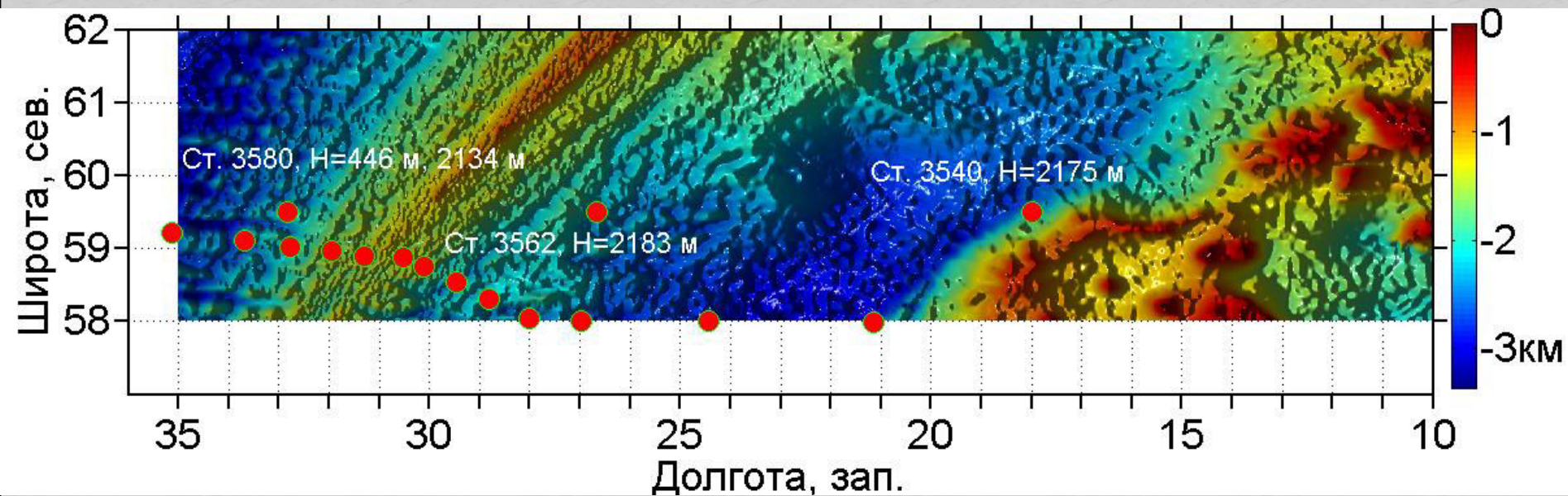


Схема  
расположения  
измерителей по  
программе  
OSNAP



High-resolution current meter and hydrographic data from the Irminger Current mooring array 2014-2016. OSNAP program.

## Выводы

1. Буйковые станции были расставлены поперёк границы водных масс - Субарктического фронта. Гидрологические зондирования и T-S диаграммы показывают, что станция № 3580 находилась в зоне Субарктической водной массы, станция 3540 – в Северо-Атлантической воде, а станция 3562 – в области промежуточных вод, образующихся при трансфронтальном обмене. Соответственно термохалинной структуре, геострофические течения (AVISO) на поверхности океана вызывают средний дрейф вод на северо-восток с плотностью кинетической энергии (в среднем за 25 лет) 106, 45, 86 ( $\pm 3$ ) эрг/см<sup>3</sup> для станций 3580, 3562, 3540, соответственно. Поток на станции 3580 соответствует направленной к Исландии ветви Северо-Атлантического течения, которая образует восточную часть Субарктического циклонического круговорота. Течение на станции 3540 является продолжением главной ветви Северо-Атлантического течения и направлено в сторону Исландско-Фарерского поднятия. В промежуточных водах, на станции 3562, наблюдаются течения с меньшими скоростями и большой завихренностью.

2. Придонные течения на склонах хребта Рейкьянес (станции 3580, 3562), противоположны направлению Северо-Атлантического течения на поверхности океана. Напротив, вне Субарктического круговорота (станция 3540, около банки Хэттон), направление течений сохраняется до дна. Кинетическая энергия течений около дна - 27, 143, 31 ( $\pm 1$ ) эрг/см<sup>3</sup>, для станций 3580, 3562, 3540, соответственно. В зоне промежуточных вод, на восточном склоне хребта Рейкьянес, имеет место мощный реверсивный (относительно Северо-Атлантического течения) поток вод на юго-запад, с большой средней скоростью  $\sim 15$  см/с.

3. Пульсирующие придонные течения над хребтом Рейкьянес Плотность кинетической энергии течений изменяется в широких пределах: от нуля до  $\sim 800$  эрг/см<sup>3</sup>. Общая изменчивость обусловлена циклическими вариациями и перемежаемостью (“вспышками”) колебаний. Выделяются многолетние (3–5-летние) циклы, сезонные колебания, синоптические вариации с периодами в интервале 30-300 суток, а также инерционные колебания и полусуточные приливные волны.

4. На синоптических масштабах баротропная компонента течений прослеживается до дна.

5. Перемежаемость колебаний частично связана с изменениями средних (низкочастотных) течений, которые могут приводить к сдвигу частоты циклических составляющих спектра, т.к. по измерениям в фиксированной точке наблюдается доплеровская частота  $\omega = \omega_0 + \mathbf{U} \cdot \mathbf{k}$ , где  $\mathbf{U}$  - скорость течения,  $\mathbf{k}$  - волновое число пространственной неоднородности поля. Указанная особенность хорошо заметна на вэйвлет-диаграммах кинетической энергии течений.

6. Оценка флуктуаций придонной температуры воды за год: средняя (за год) придонная температура на станции 3540 ( $T_{\text{ср}} = 3.369^\circ\text{C}$ ) была выше на  $0.469 \pm 0.001^\circ\text{C}$  (колебания в пределах  $0.1-0.8^\circ\text{C}$ ), чем на станции 3560 ( $T_{\text{ср}} = 2.901^\circ\text{C}$ ). Амплитуда флуктуаций температуры за год составила по средне-квадратическому отклонению  $0.07-0.10^\circ\text{C}$ , на станциях 3540 и 3562 соответственно. Сезонный ход придонной температуры не просматривается. Однако, на этих станциях заметен тренд с потеплением на  $\sim (0.10-0.15) \pm 0.01^\circ\text{C}$  за год.



Спасибо за внимание

*Мельников Василий Андреевич,  
Институт океанологии  
им. П.П.Ширшова РАН ,  
Тел. 916 241 87 16  
[vmelnikov@ocean.ru](mailto:vmelnikov@ocean.ru)*