

XXIII Международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования
Земли из космоса», 10 – 14 ноября 2025 г.

О гидрофизических процессах в Карском
море. Текущий момент в исследованиях.

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

vmelnikov@ocean.ru

11 ноября 2024
г. Москва, ИКИ РАН



Цель работы

Предметом исследования является выяснение действующих физических механизмов развития разномасштабных динамических процессов в арктических морях. В докладе рассматриваются три новых примера гидрофизических и метеорологических процессов в Карском море.

1. Автоколебания подлёдных течений с периодом 15 суток.
2. Структура климатических атмосферных течений в Российском секторе Арктики.
- 3.Фронтальное распространение взмученных вод.

Данные

Анализ основан на данных инструментальных измерений течений и гидрологии в период 2012 г. по н/вр. Использовались также базы данных Copernicus и PODAAC, а также стандартные метеорологические измерения в период 1998 г. - по н/вр.. на арктических метеорологических станциях (из списка сети ВМО).

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.



Kara Sea, <https://visibleearth.nasa.gov/images/51396/sunny-skies-over-arctic-sea-ice/513981>.

This SeaWiFS image looks southeastward across the Kara Sea. Sediment-laden waters flow from the Ob and Yenisey Rivers. Sea ice is visible on the left. The glacier-covered island at the bottom of the image is Novaya Zemlya and the Barents Sea is in the right foreground. *Provided by the SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center, and ORBIMAGE Data acquired August 11, 2000.*



Mouths of the Ob and the Yenisey Rivers, Russia

The mighty Ob (left) and Yenisey (right) Rivers pour into the Kara Sea in northwest Russia. When this image was taken on July 19, 2004, winter had briefly released its grasp on the region, though white chunks of sea ice still float near the mouths of the rivers. Streaks of brown sediment color the black waters of both rivers, interrupted by black channels of faster moving water. The sediment may have been stirred up from the bottom of the rivers by the sudden influx of melt water, or it may have entered the rivers with the run-off. Between the two large rivers, smaller, silvery rivers and streams crisscross the wetlands on the Gydanskiy Peninsula. The [Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer](#) (MODIS) flying aboard NASA's [Aqua](#) satellite captured this image. *Jacques Descloitres, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC* Published July 20, 2004 Data acquired July 19, 2004

Source: [Aqua > MODIS](#) Visible Earth is part of the [EOS Project Science Office](#) at NASA Goddard Space Flight Center



Tawny Swirls in the Kara Sea

Freshwater from the Yenisei River, stained brown with organic materials, mixes with Arctic seawater off the coast of Russia.

NASA image by Norman Kuring /[NASA's Ocean Color Web](#), using Landsat data from the [U.S. Geological Survey](#). Story by Kathryn Hansen. Data acquired July 17, 2019, **Source:** [Landsat 8](#)



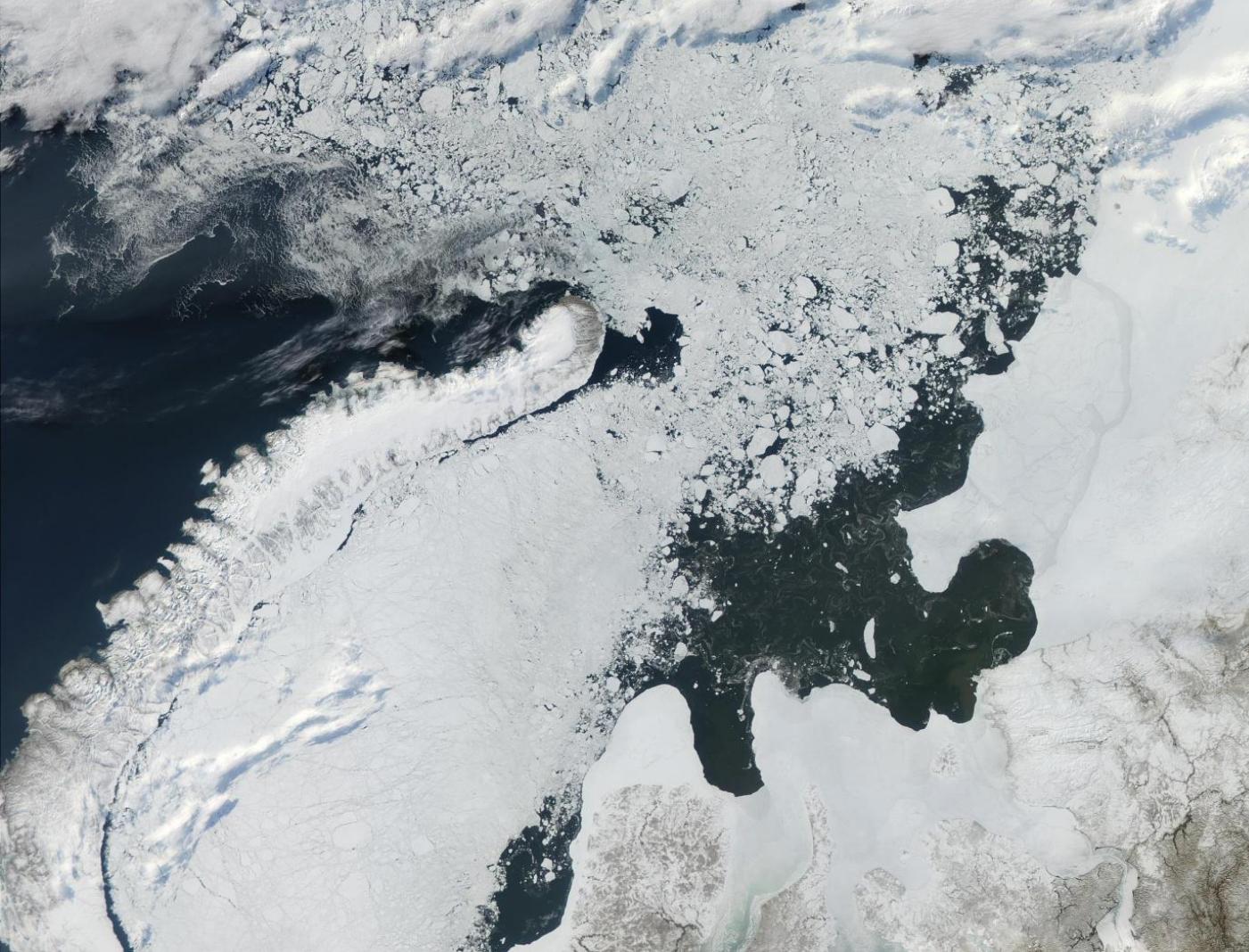
Northeastern Russia

On July 3, 2004, sea ice still covered much of the Kara Sea in Northeastern Russia, near the western edge of Siberia, when the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer ([MODIS](#)) on NASA's [Aqua](#) satellite captured this image. The southern tip of Novaya Zemlya Island curves out of the upper left corner of the image and is separated from Vaygach Island by Karskiye Vorota Strait. The narrow Yugorskiy Shar Strait, which separates Vaygach Island from mainland Russia, is clogged with sea ice. To the west, image left, the Pechora River is emptying brown, sediment-rich water into the Pechorskoye Sea. The water is probably loaded with mud as the far north thaws for the summer. In the lower right corner of the image, MODIS has detected a handful of fires, marked in red, which are sending light plumes of smoke to the southwest.

Jeff Schmaltz, MODIS Rapid Response Team,
NASA/GSFC

Data acquired July 3, 2004

Source: [Aqua > MODIS](#)



Novaya Zemlya
and Kara Sea,
Russia

This MODIS true-color image shows the island of Novaya Zemlya, which is north of western Russia. To the left of the island are the clear waters of the Barents Sea, to the right, the still ice-filled waters of the Kara Sea. The northern half of the island remains glacier-covered throughout the year. *Jacques Descloitres, MODIS Land Rapid Response Team* Data acquired June 10, 2001

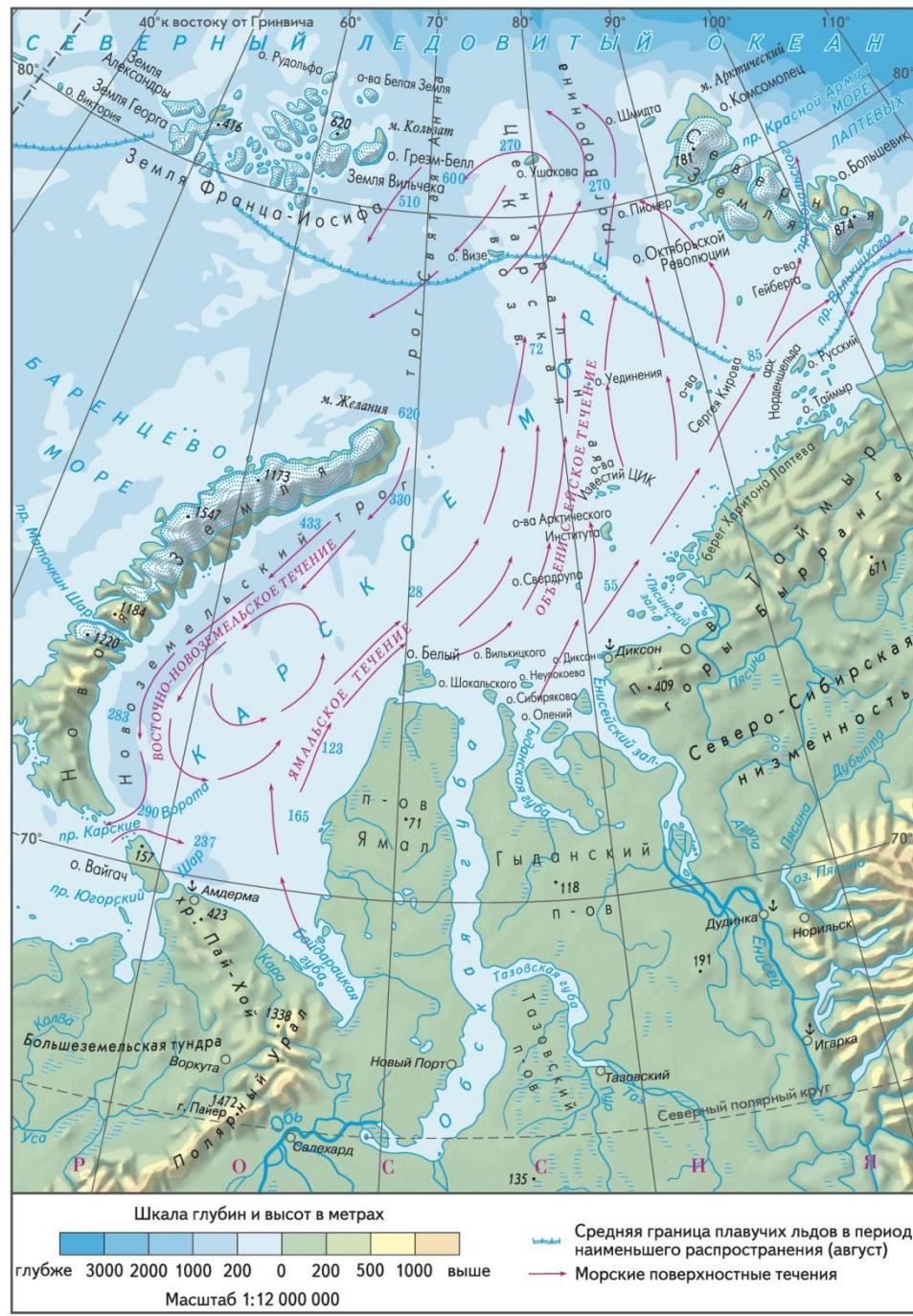
Source: [Terra > MODIS](#)

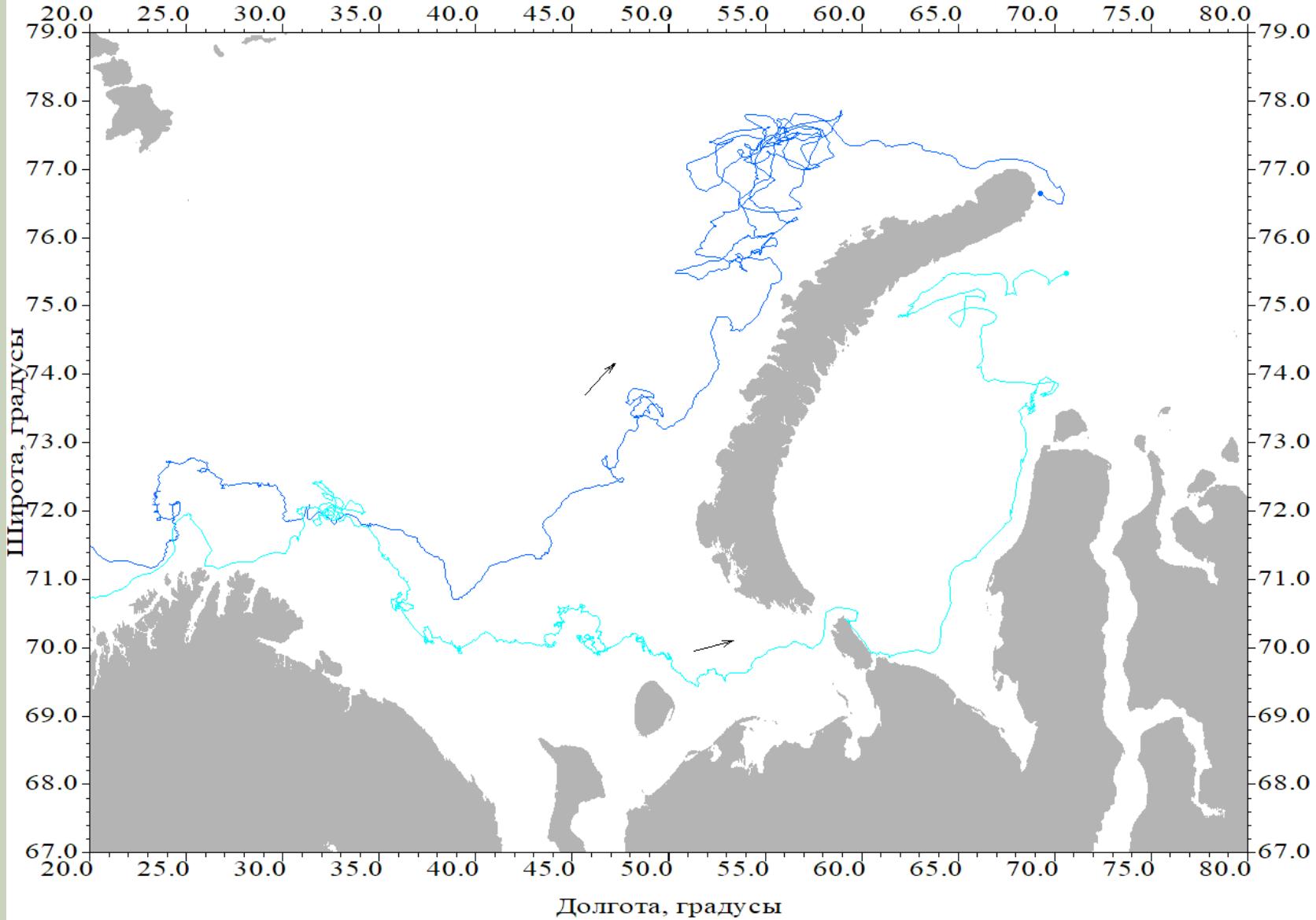


Novaya Zemlya, Northern Russia

The long crescent of Novaya Zemlya separates the Barents Sea, left, from the Kara Sea, right. Novaya Zemlya is actually two islands, Severny in the north and Yuzhny in the south. The islands are separated by a narrow channel of water, the Matochkin Strait, which is not visible in this image. Here, the water in the strait has frozen into white ice, blending with the snow that covers the islands. Located north of European Russia, Novaya Zemlya is a continuation of the Ural Mountains. In this true-color [Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer](#) (MODIS) image, mountains wrinkle the otherwise smooth snow over the islands. MODIS on the [Terra](#) satellite captured this image on [March 20, 2004](#). Sea ice covers the waters north and east of the islands. Thin black lines trace out the locations of open water channels in the ice.*Jacques Descloitres, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC Data acquired March 20, 2004 Source: [Terra > MODIS](#)*

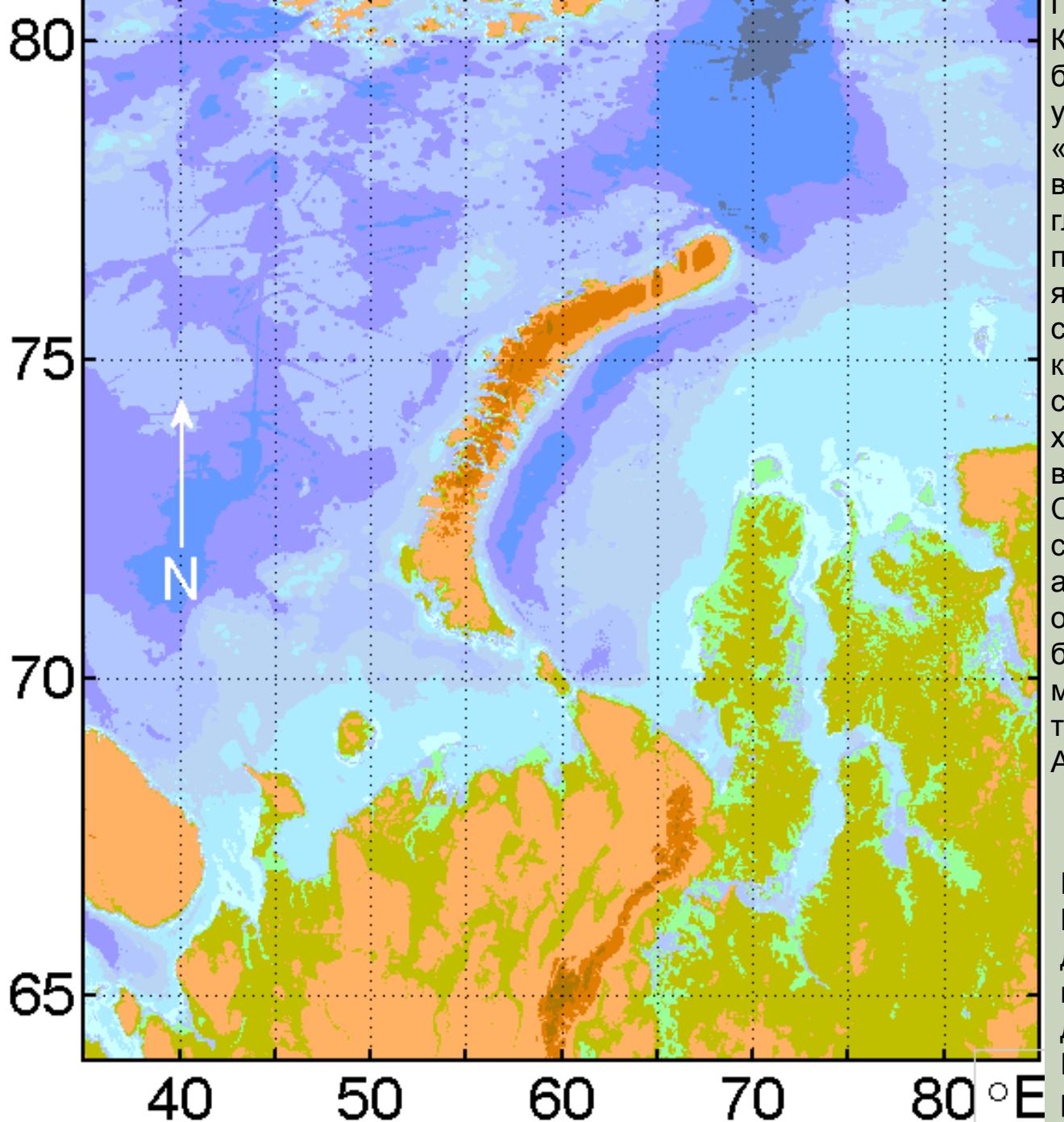
KAPCKOE MOPE

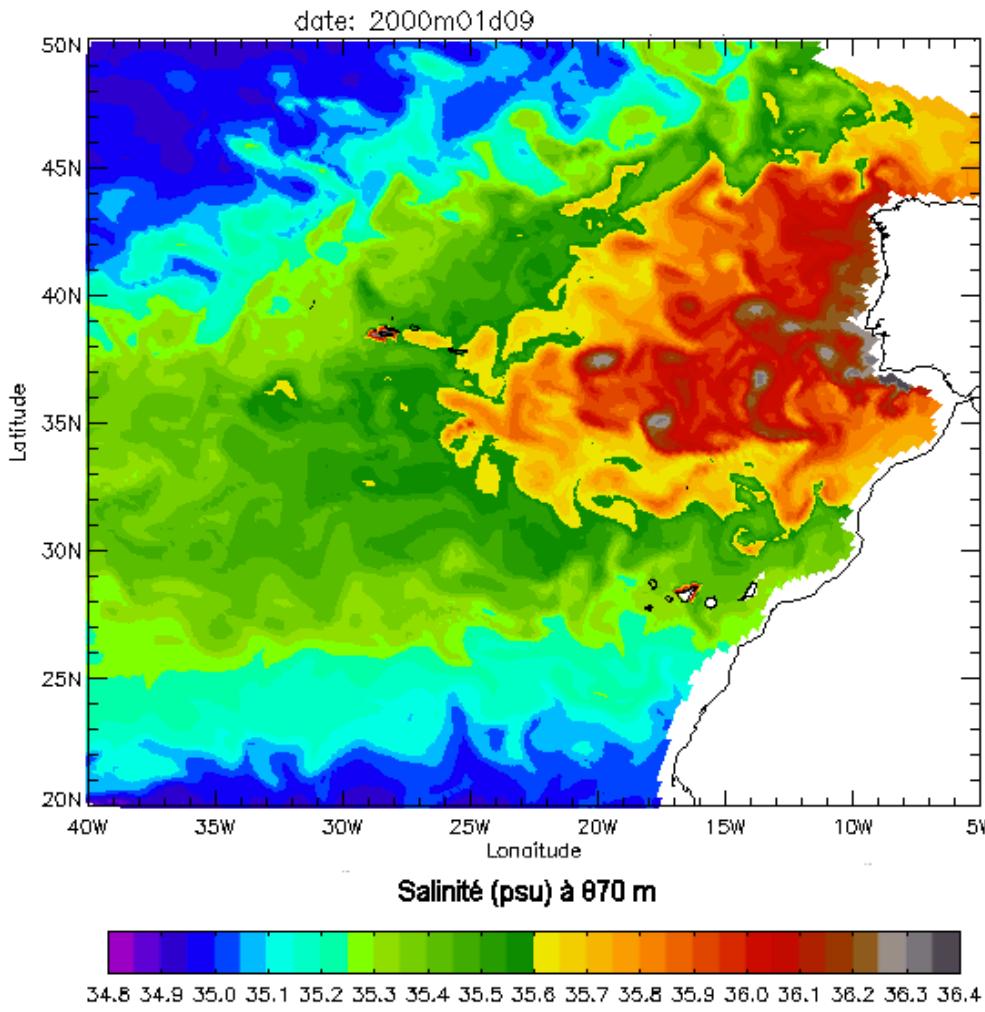




Траектории дрифтеров ARGO(s) ## 76807 & 46280.

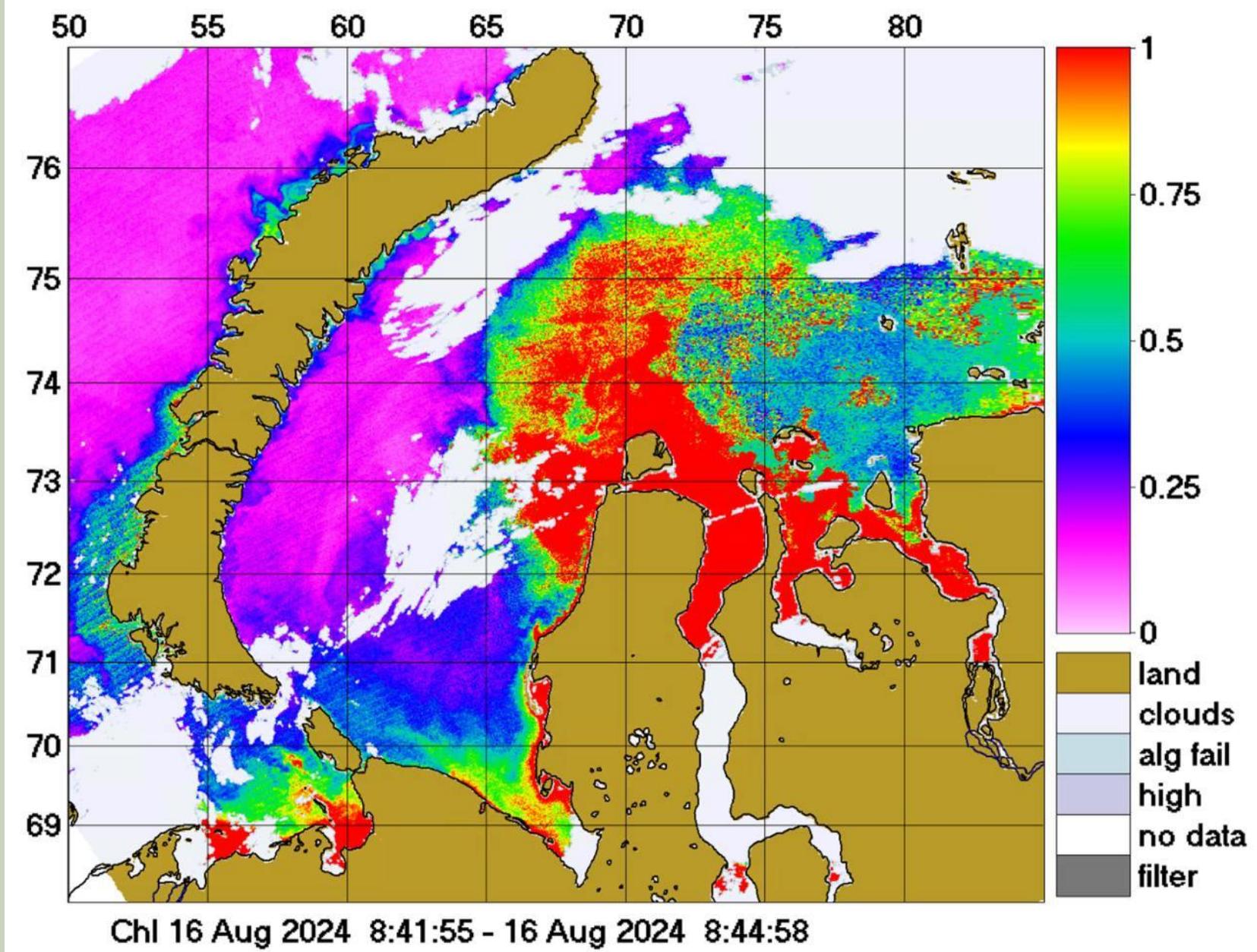
Никитин О.П., Касьянов С.Ю. О дрифтерных наблюдениях за течениями и температурой в Баренцевом и Карском морях // Труды ГОИН. Вып. 217. 2016. С. 171–183.



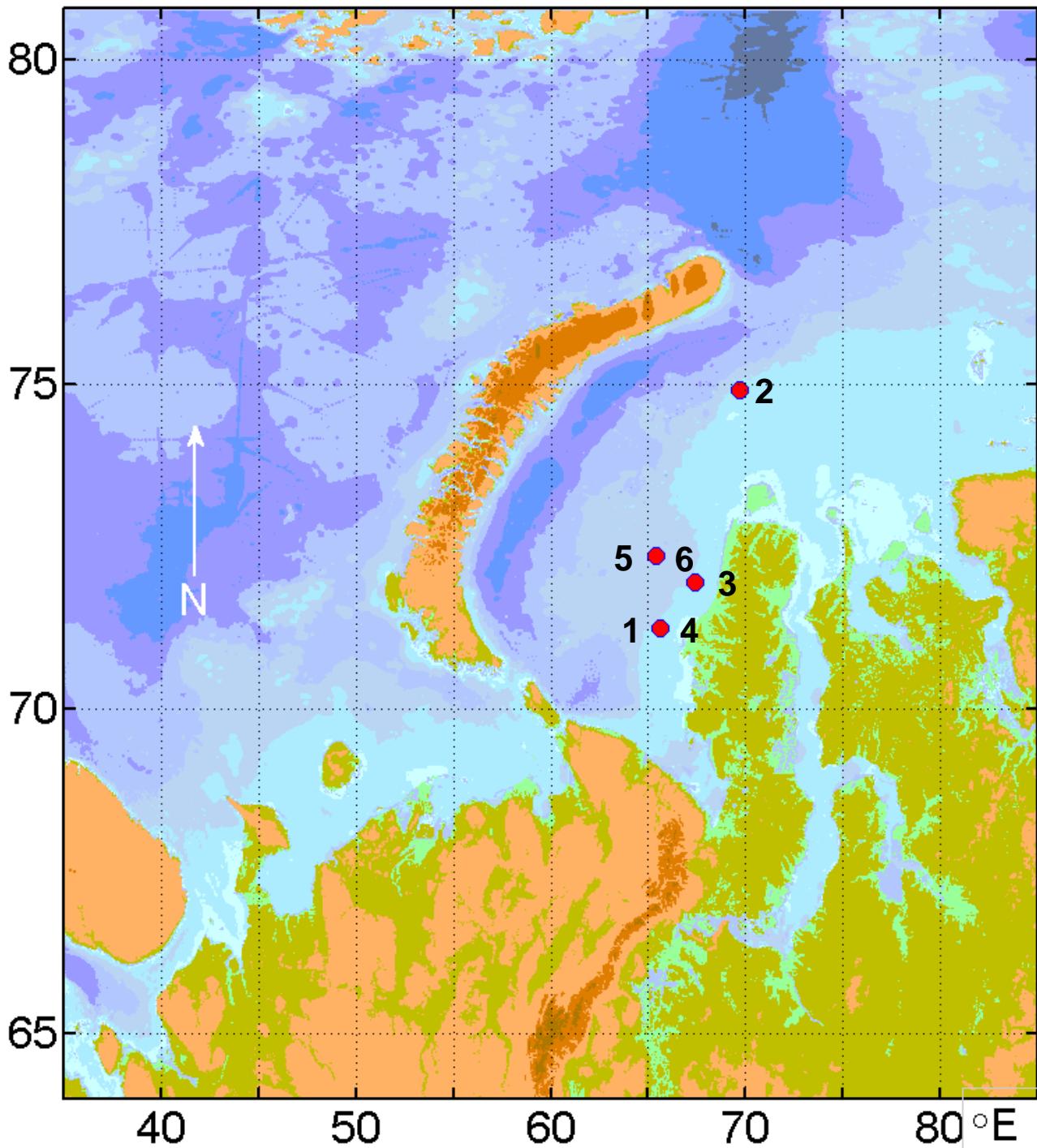


PAM (*Prototype Atlantique Nord Méditerranée*) model simulation for the whole of 2000: salinity at 870 m deep. The meddies are shown as small, grey-centred eddies. Credit: Yann Drillet.

Drillet, Y., R. Bourdallé-Badie, L. Siefridt, and C. Le Provost (2005), Meddies in the Mercator North Atlantic and Mediterranean Sea eddy-resolving model, *J. Geophys. Res.*, 110, C03016,



В распределениях хлорофилла по спутниковым данным отражаются водные массы на поверхности Карского моря.



Притопленные буйковые станции в Карском море в период с октября 2021 г. по сентябрь 2022 г. 1-Станция 7205, прибор Sontek D803, горизонт прибора 32 м; 2- Ст.-7219 D808-32m; 3-Ст.-7440-D805-75m; 4- Ст.-7440-D811-45m; 5-Ст.-7441-D804-05m; 6-Ст.-7441-D812-75m. Рельеф земной поверхности и морского дна - модель (Smith, Sandwell, 1997).

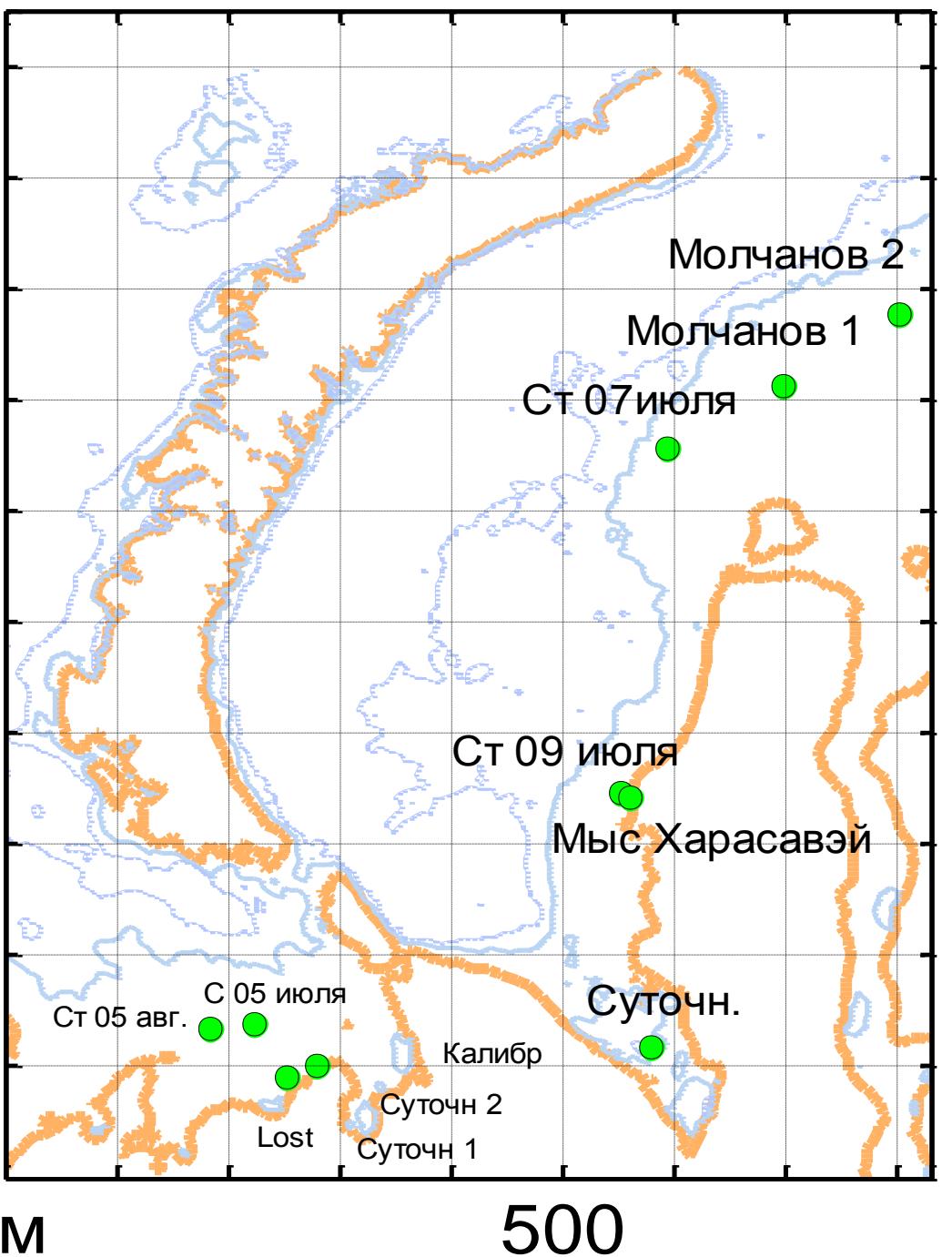
1000

500

0

КМ

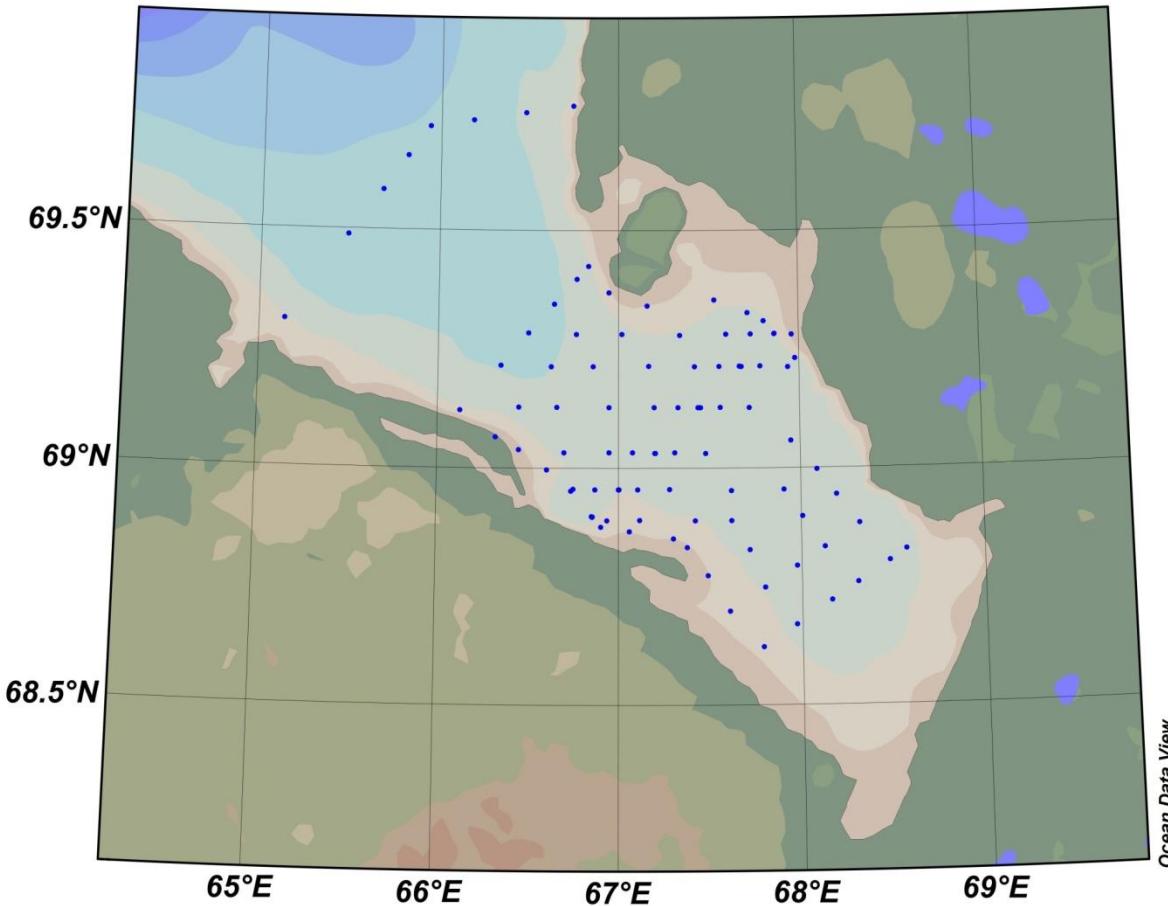
500



К настоящему моменту в Карском море проведено немало экспедиций по фундаментальным и прикладным задачам (Амбросимов и др. 2020-2024; Гудошников и др., 2018; Поярков, Недоспасов, 2021а,б; Флинт, Поярков, 2015; Архипов и др., 2013; Зацепин и др., 2010; Zatsepin et al., 2010; Harms, Karcher, 2005; Pivovarov et al., 2003; Volkov et al., 2002; Kulakov, Stanovoi, 2002; Scherbinin, 2001; McClamans et al., 2000; Nies et al., 1997; Johnson et al., 1997; Pavlov, Pfirman, 1995; Føyn, Nikitin, 1994; Буренков, Васильков, 1994). Главными результатами работ были выяснение гидрологической структуры, динамики вод и фронтальных зон Карского моря; процесса распространения стоков Оби и Енисея и формирования линз опреснённых вод, водообмена между Карским и Арктическим бассейнами. К настоящему моменту в Карском море были проведены ряд экспедиций ГОИН, ИО РАН, ААНИИ по фундаментальным и прикладным задачам. Главными результатами работ были выяснение гидрологической структуры, динамики вод и фронтальных зон Карского моря; процесса распространения стоков Оби и Енисея и формирования линз опреснённых вод, водообмена между Карским и Арктическим бассейнами. О сезонной и долговременной изменчивости гидрофизических полей известно немного.

Измерительные станции в Баренцевом и Карском морях летом 2012 г.

Точки зондирования в Байдарацкой губе



Ocean Data View

В июле-августе 2012 г., в юго-западной части Карского моря, силами сотрудников ГОИН была проведена экспедиция на НИС "Иван Петров", где наряду с решением прикладной задачи о динамике берегов и дна и воздействиях морских льдов на дно и берега, был проведён комплекс гидрофизических измерений. В ходе экспедиции, на основе использования разнообразных измерительных средств, обеспечивающих регистрацию параметров на ходу судна, вертикальные сканирования водной толщи, с отбором проб воды батометрами на выбранных горизонтах для измерения концентрации взвеси, измерение вертикальных профилей скоростей течений и СТД параметров на автономных донных и буйковых станциях, а также временные ряды вариаций метеоэлементов на судовой и береговых метеостанциях, получен уникальный по пространственно-временному разрешению и объему данных научный материал, позволяющий детально исследовать динамику вод и гидрологическую структуру Байдарацкой губы и юго-западной части Карского моря.

Средства измерений

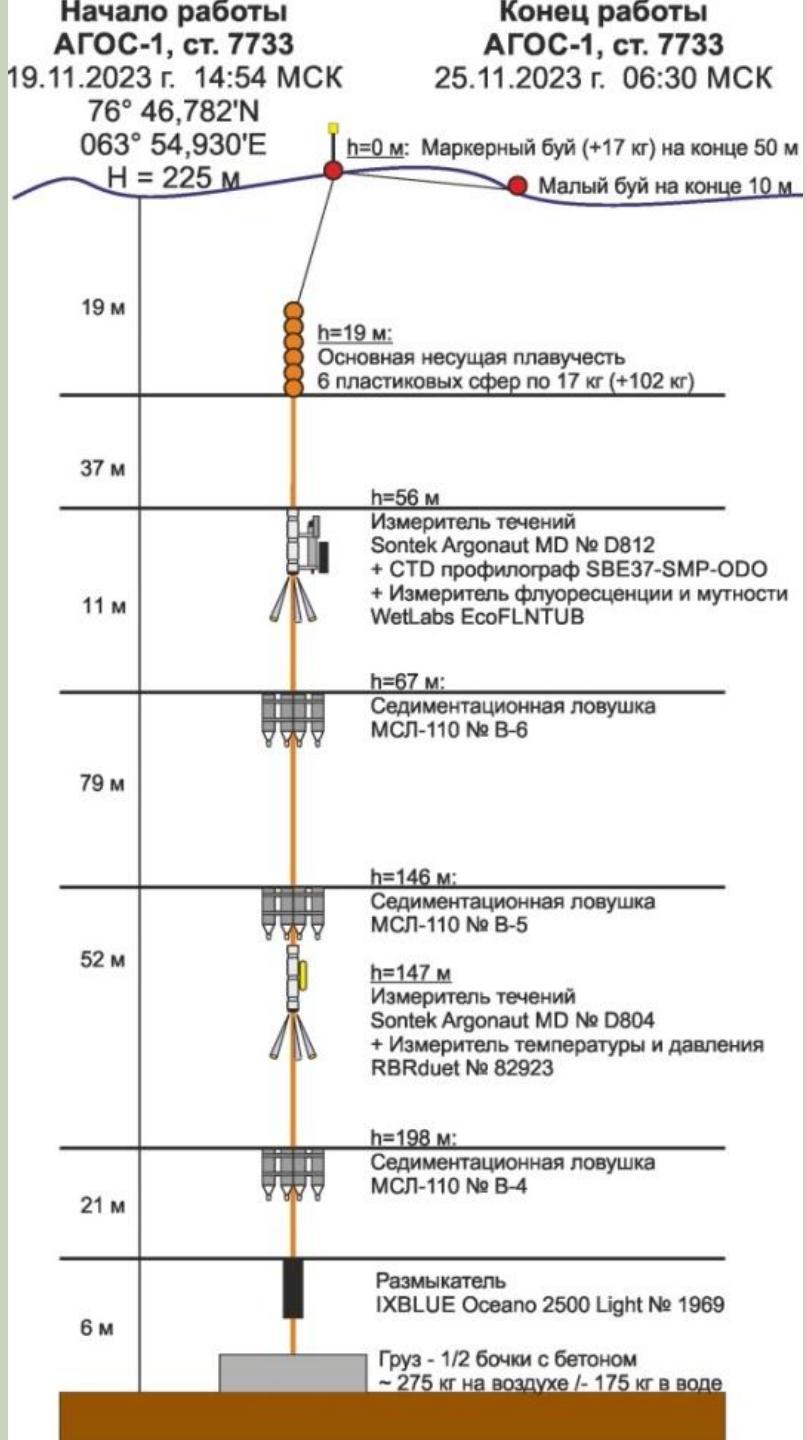
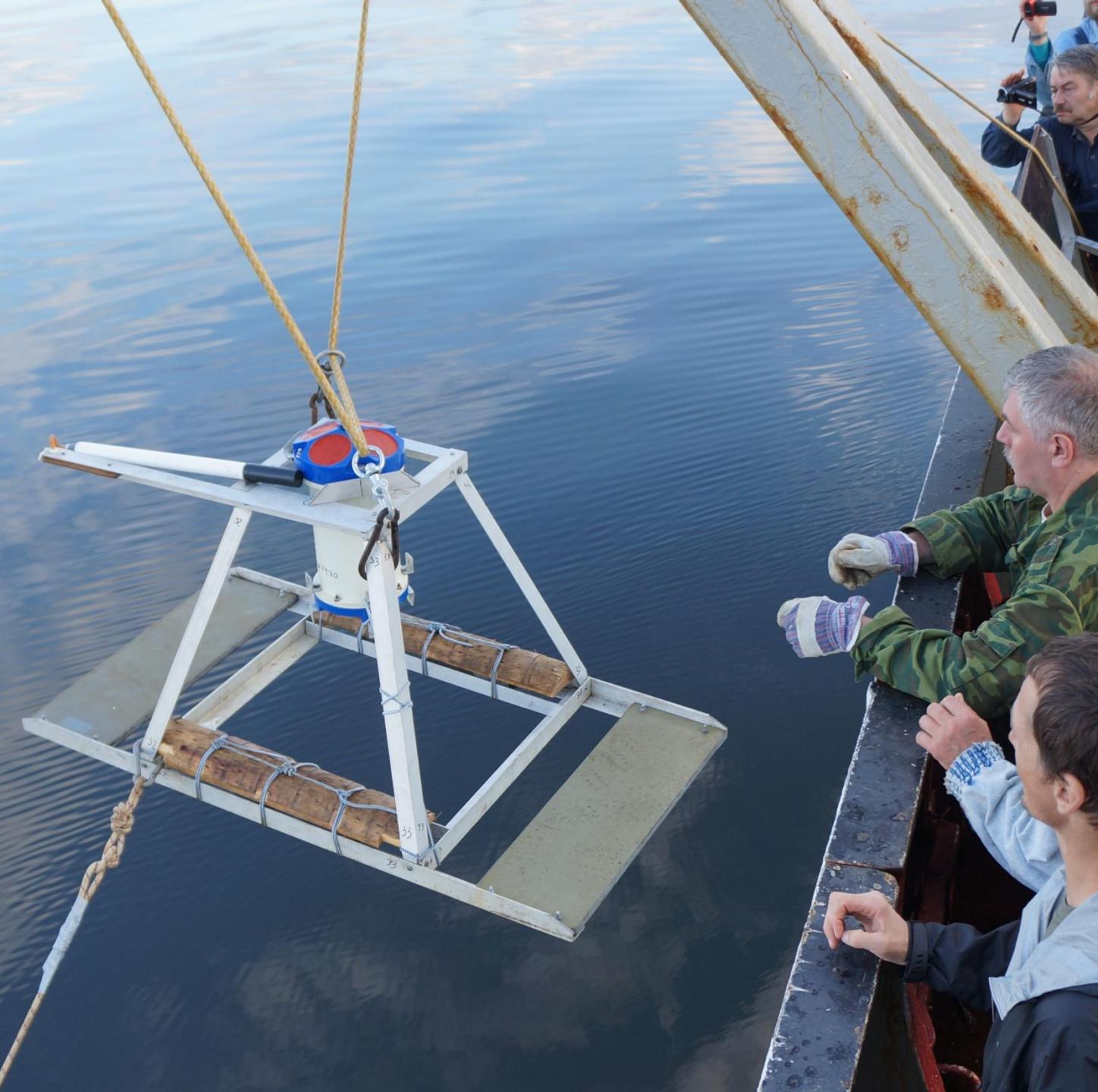


Схема притопленной буйковой станции.





Accelerometer



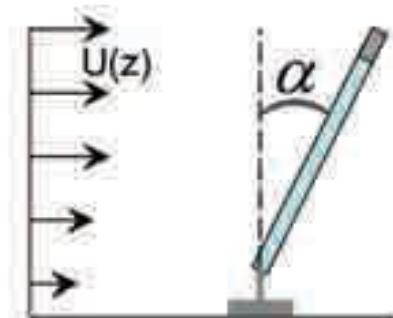
Pressure logger
(Courtesy of M. Merrifield)



Temperature/Light



Accuracy:
2.5 cm/s in velocity
5° in direction.



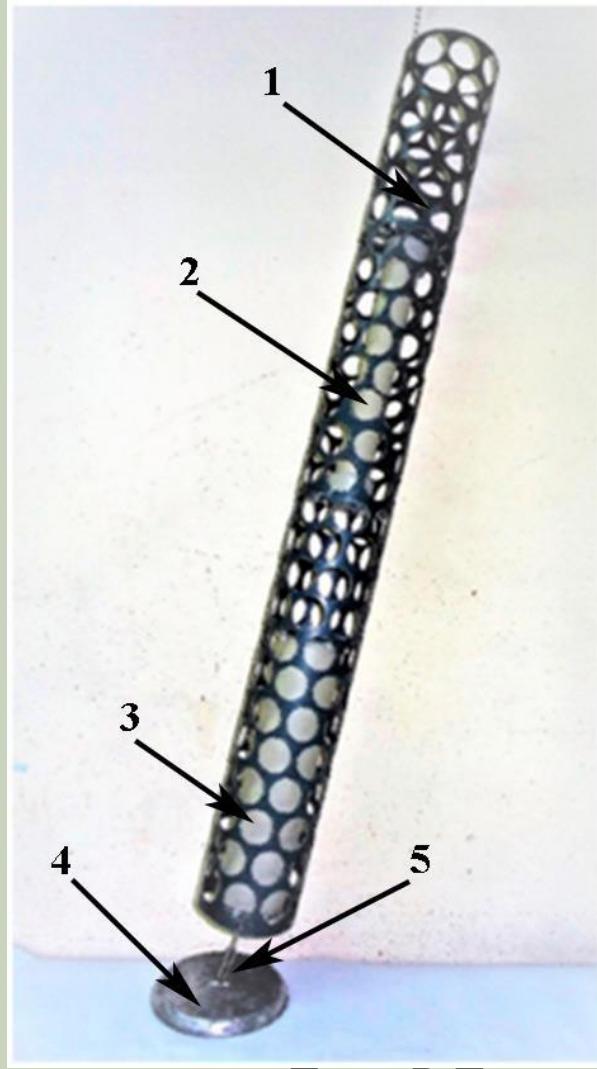
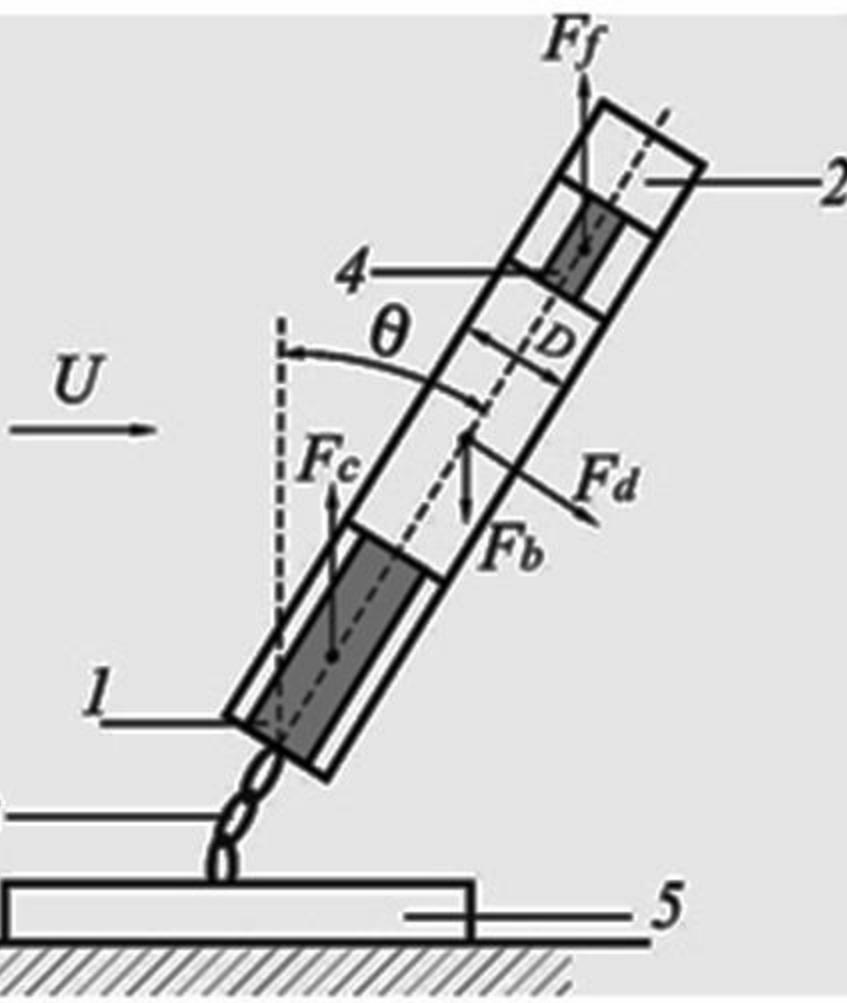
Устройство измерителя скорости течений и температуры “Морской конёк”.

Автор – Виталий Шеремет..

SeaHorse tilt current meter developed by Vitalii Sheremet from the University of Rhode Island. While in the water, a buoyant plastic pipe containing an accelerometer is anchored vertically to the sea floor. Currents cause the pipe to tilt. The angle of the tilt, measured by the accelerometer, is converted into velocity of the current. Additionally, temperature and pressure sensors are attached to the current meter's anchor.

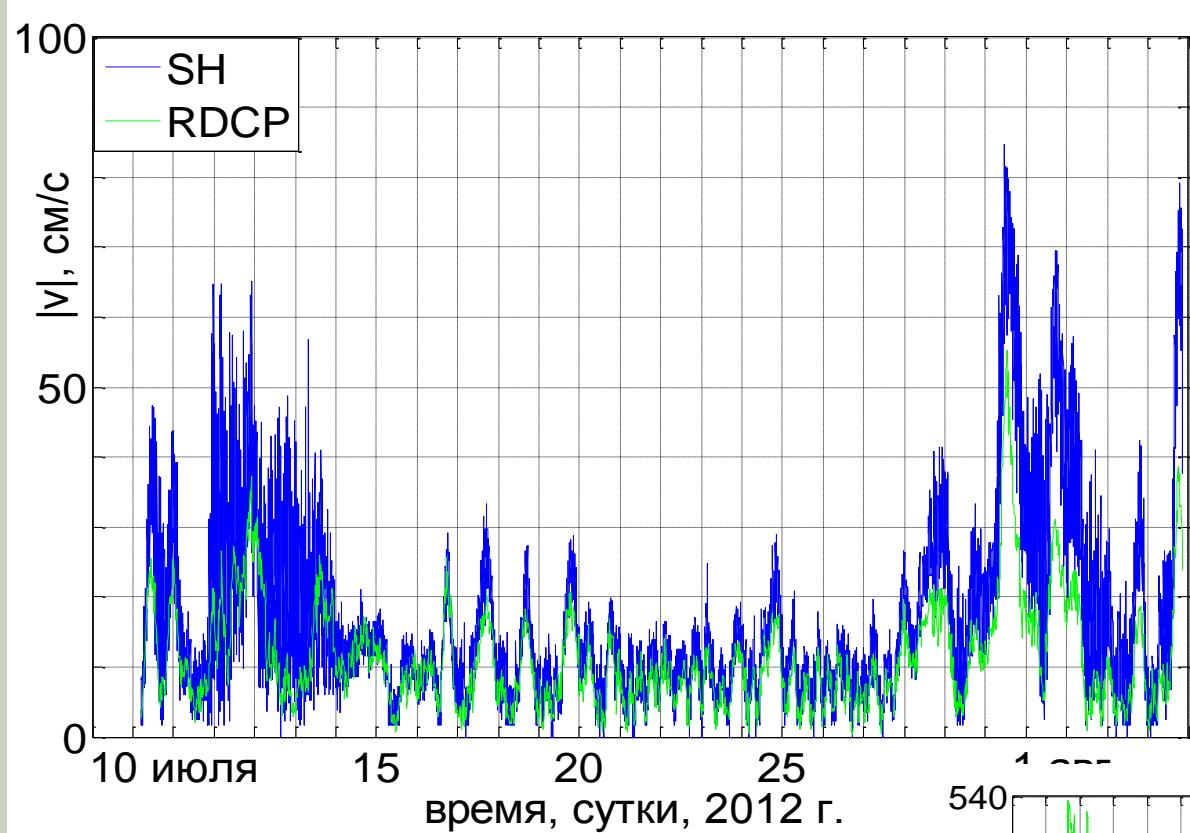


“Морской конёк” в работе .

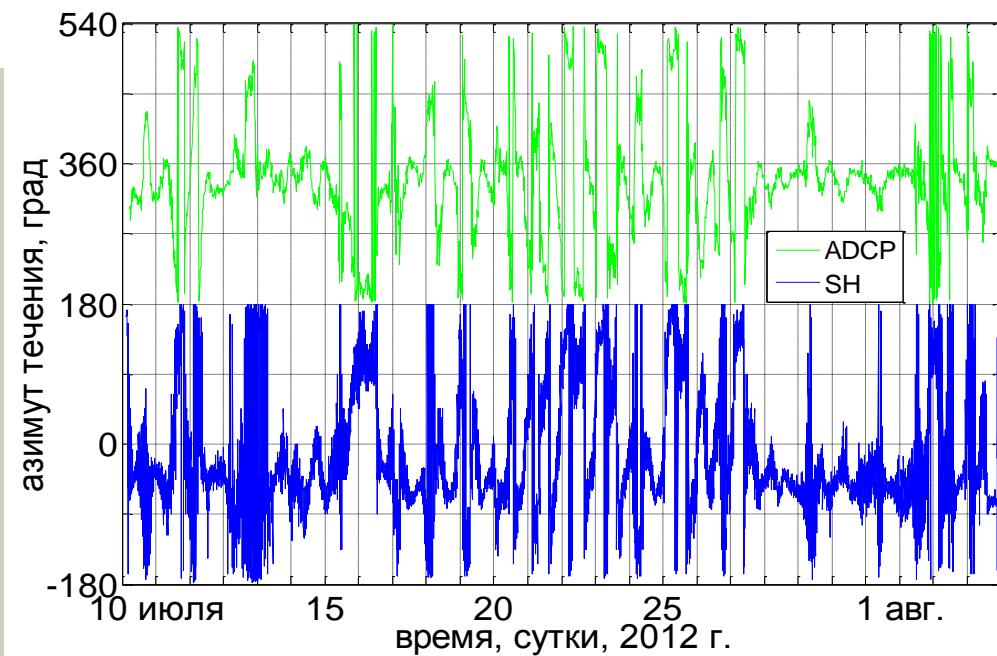


Модернизация “Морского конька” в группе под руководством Паки В.Т.

- а) Упрощенная схема инклинометра: 1 – гермоконтейнер с электроникой, 2 – жесткая перфорированная оболочка, 3 – шарнирное крепление подвеса, 4 – поплавок, 5 – груз-подставка, U – скорость набегающего потока, F_d – сила гидродинамического сопротивления, F_c – равнодействующая гидростатической силы и силы тяжести гермоконтаинера, F_b – равнодействующая гидростатической силы и силы тяжести оболочки (отрицательная плавучесть), F_f – равнодействующая гидростатической силы и силы тяжести поплавка.
- б) Конструкция инклинометра. 1 – перфорированная оболочка (длина 0.9 м, диаметр 0.11 м), 2 – модуль дополнительной плавучести (поплавок), 3 – приборный модуль, 4 – донный груз (2 кг), 5 – подвес (цепочка)



Автономная донная станция (АДС) около порта Харасавей. Сравнение RDCP 600 sn538 и SeaHorse.
Глубина - 18м. Горизонты – 15м до 17м.



Методы обработки сигналов измерения и расчеты

Рутинная обработка временных рядов данных измерений и рассчитанных по модели заключалась в подготовке массивов данных и расчёте статистических характеристик, включая гистограммы, прогрессивно-векторные диаграммы. Методами традиционного спектрального анализа рассчитывались авто- и взаимные спектры, скользящие спектрограммы. Применялись методы обработки векторной информации с расчётом спектральных инвариантов, вращательных компонент, ЭОФ, годографов, а также оценка частотных составляющих спектров на основе динамико-стохастических моделей [1,2]. Вследствие перемежаемости и других нестационарностей и неоднородностей исследуемых полей, рассчитывались вейвлет-диаграммы, а также распределения по частоте проинтегрированной по времени вейвлет-плотности, которая сравнивалась с Фурье-спектром, нормированным на дисперсию реализации,

Поле горизонтальной скорости (U, V) разделялось на среднюю по времени и флюктуационную составляющие \bar{u}, \bar{v}

$$U = \langle u \rangle + u'$$

$$V = \langle v \rangle + v'$$

Тогда средняя (МКЕ) и вихревая (ЕКЕ) кинетические энергии.

$$\text{МКЕ} = 0.5 * \rho (\langle u \rangle^2 + \langle v \rangle^2); \text{ ЕКЕ} = 0.5 * \rho (u'^2 + v'^2)$$

Здесь ρ - плотность жидкости.

- 1.Calman J. On the interpretation of ocean current spectra. Part I: The kinematics of three-dimensional vector time series// J. Phys. Oceanogr. Vol. 8. № 7. 1978 (a). pp.627–643.
- 2.Calman J. On the interpretation of ocean current spectra. Part II: Testing dynamical hypotheses // J. Phys. Oceanogr. Vol. 8. № 7. 1978(b). pp. 644–652. doi.org/10.1175/1520-0485(1978)008<0644:OTIOOC>2.0.CO;2.
- 3.Torrence C., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis. - Bul. Amer. Meteorol. Soc., 1998, vol. 79, pp. 61–78.

Спектр мощности рассчитывался на основе представления ряда измерений обобщённого параметра $V(t)$, в декартовой системе координат, в точке с координатами $r: \{x,y,z\}$, в моменты времени $t_i = i\delta t$, $i=1, 2, \dots, N$, при помощи ряда Фурье:

$$V(t) = \operatorname{Re} \sum_{m=1}^{\frac{N}{2}-1} \hat{V}_m e^{if_m t},$$

Где: $\hat{V}_m = [2/(N\delta t)] \sum \delta t V_k(t) \exp(-i2\pi m k/(N\delta t))$ - коэффициенты Фурье на частотах $f_m = 2\pi m/(N\delta t)$, δt – интервал дискретизации. Матрица S_{ij} спектра мощности векторной величины $V(t)$ определяется как $S_{ij} = \langle \hat{U}_i^* \hat{U}_j \rangle$, где \hat{U}_i - компоненты вектора \hat{V}_m ; * - комплексное сопряжение; скобки обозначают осреднение по ансамблю, которое в силу гипотезы об эргодичности процесса, заменяется на осреднение по окну полосы разрешения.

Непрерывное прямое вэйвлет-преобразование $W_n(s)$ определяется как свёртка последовательности значений обобщённого параметра X_i , $i=0, 1, \dots, N-1$, с функцией $\psi_n((n'-n)\delta t/s)$, которая задаётся как нормированная и растянутая копия компактного ядра $\psi_0(\eta)$:

$$W_n(s) = \sum_{n'}^{N-1} X_{n'} \psi^* \left(\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right)$$

где: * - комплексное сопряжение; s – масштаб временного вэйвлет-окна; n – индекс момента времени. Среди некоторого класса подходящих функций можно выбрать удобный вэйвлет Морле: $\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i2\pi f_0 \eta} e^{-\eta^2/2}$, с преобразованием Фурье $\hat{\psi}(f) = \pi^{-1/4} H(f) e^{-\pi(f-f_0)^2}$, где $H(f)$ - функция Хэвисайда.

Условия нормировки важно выбирать так, чтобы дисперсия ряда (общая "энергия") равнялась сумме квадратов $W_n(s)$, согласно теореме Парсеваля.

Псевдолагранжевые траектории: прогрессивно-векторные диаграммы течений

Данные измерений векторной величины (например, скорость морского течения) в точке r_0 (например, на буйковой станции), в моменты времени t_n , удобно представить в виде прогрессивной векторной диаграммы течений (ПВД), которую иногда называют "псевдолагранжевой" траекторией,

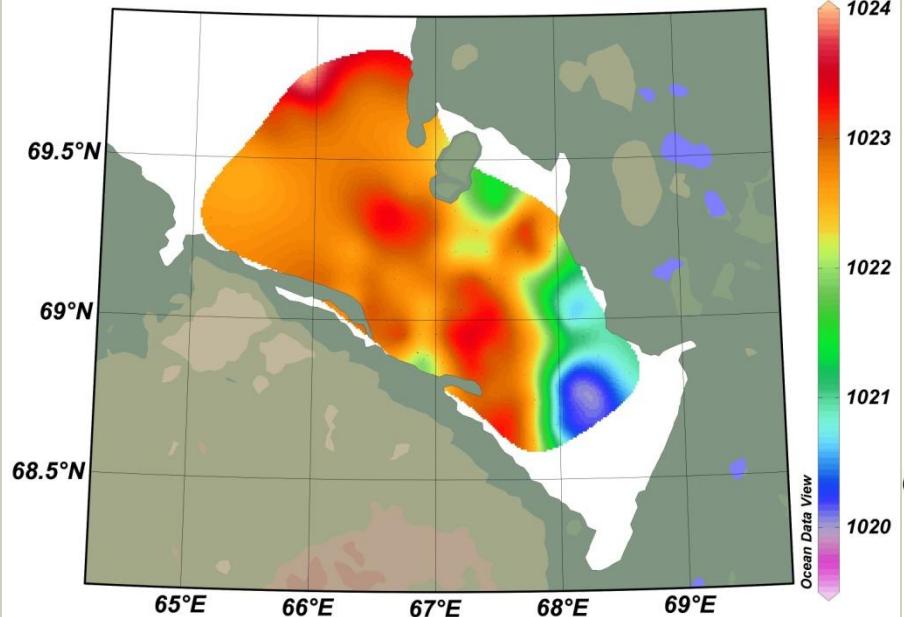
Движение индивидуальных жидких элементов в сплошной среде под воздействием поля скорости, удовлетворяющего уравнениям Навье-Стокса $U(r,t)$, находится из соотношения $dX/dt=U(r,t)$, где $X(r,t)$ - координаты частицы жидкости:

$$X(r_0, t_n) = \int_0^{t_n} U(r_0, t) dt \approx \sum_{i=1}^{i=n} U(t_i) \delta t$$

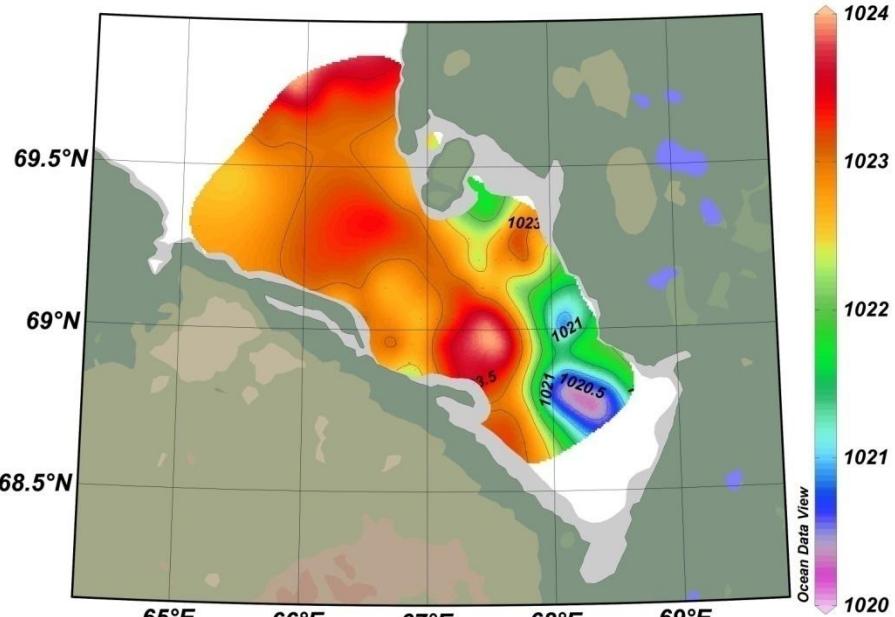
На ПВД в обозримом виде проявляются вариации скорости и направления течения на разных временных масштабах: от синоптических до климатических, причём необходимость в фильтрациях отпадает. По мере уменьшения масштаба зрения, по диаграмме можно увидеть всё большие подробности, связанные с высокочастотными флюктуациями течений.

Такие "траектории" были построены по данным долговременных измерений течений на буйковых станциях, для визуализации рассчитанных модельных течений, а также для скорости ветра, измеренного на метеостанциях вокруг берегов Карского моря .

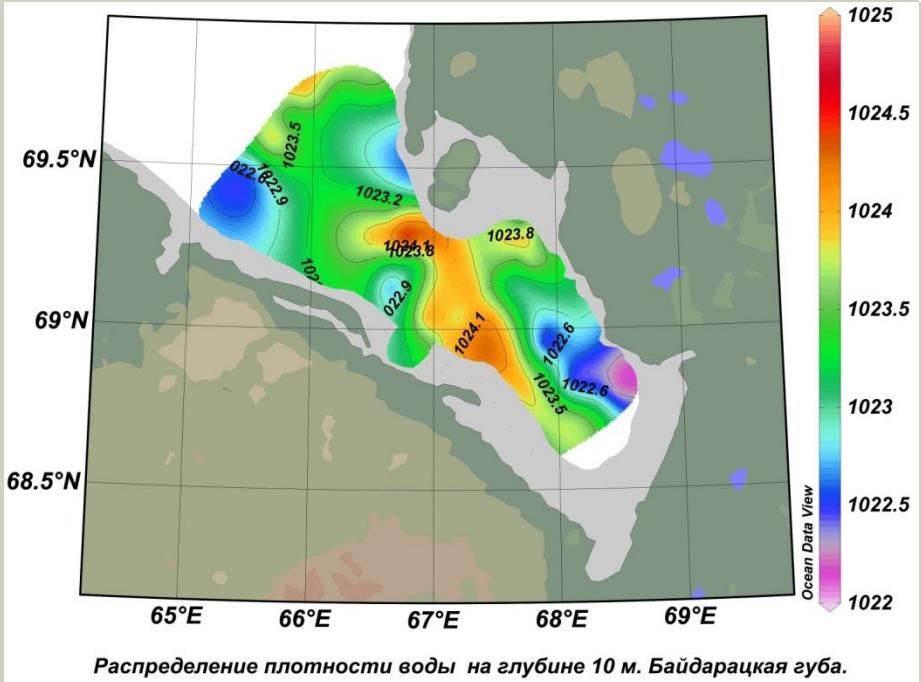
Гидрология



Распределение плотности воды на глубине 1 м. Байдарацкая губа.

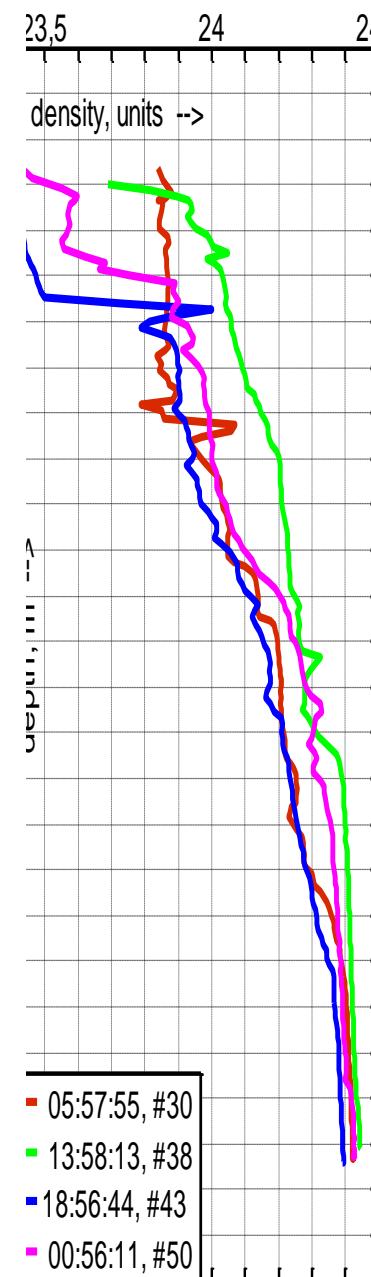
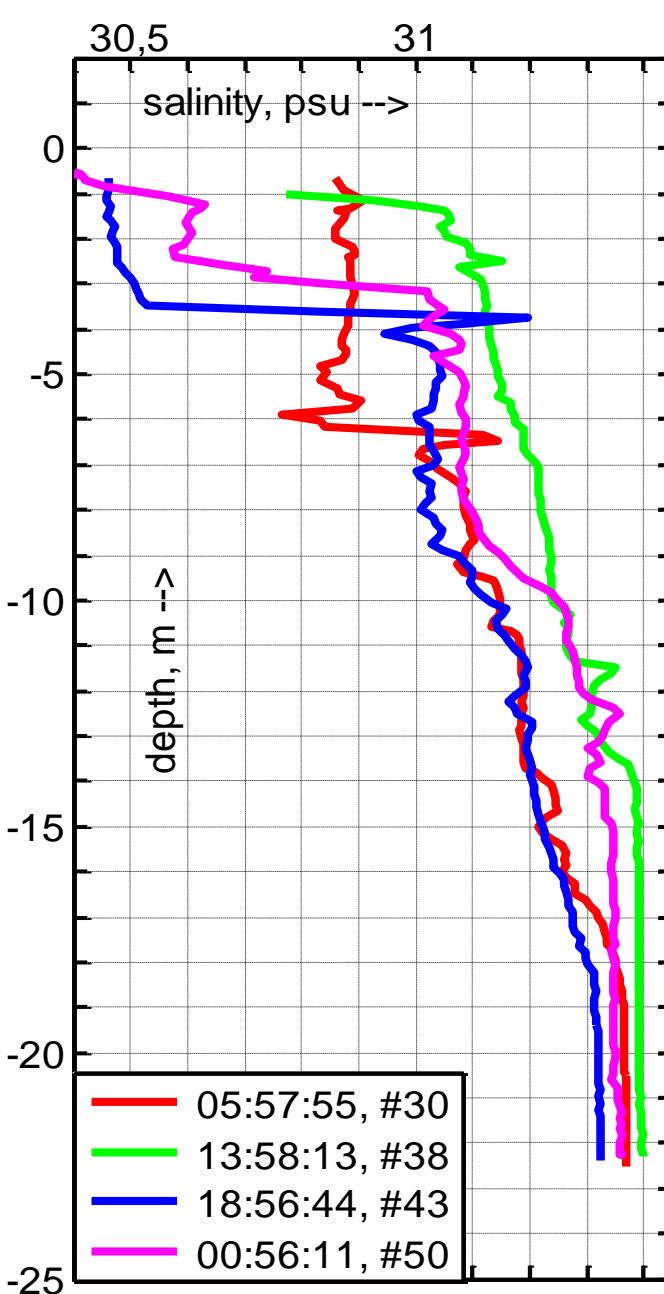
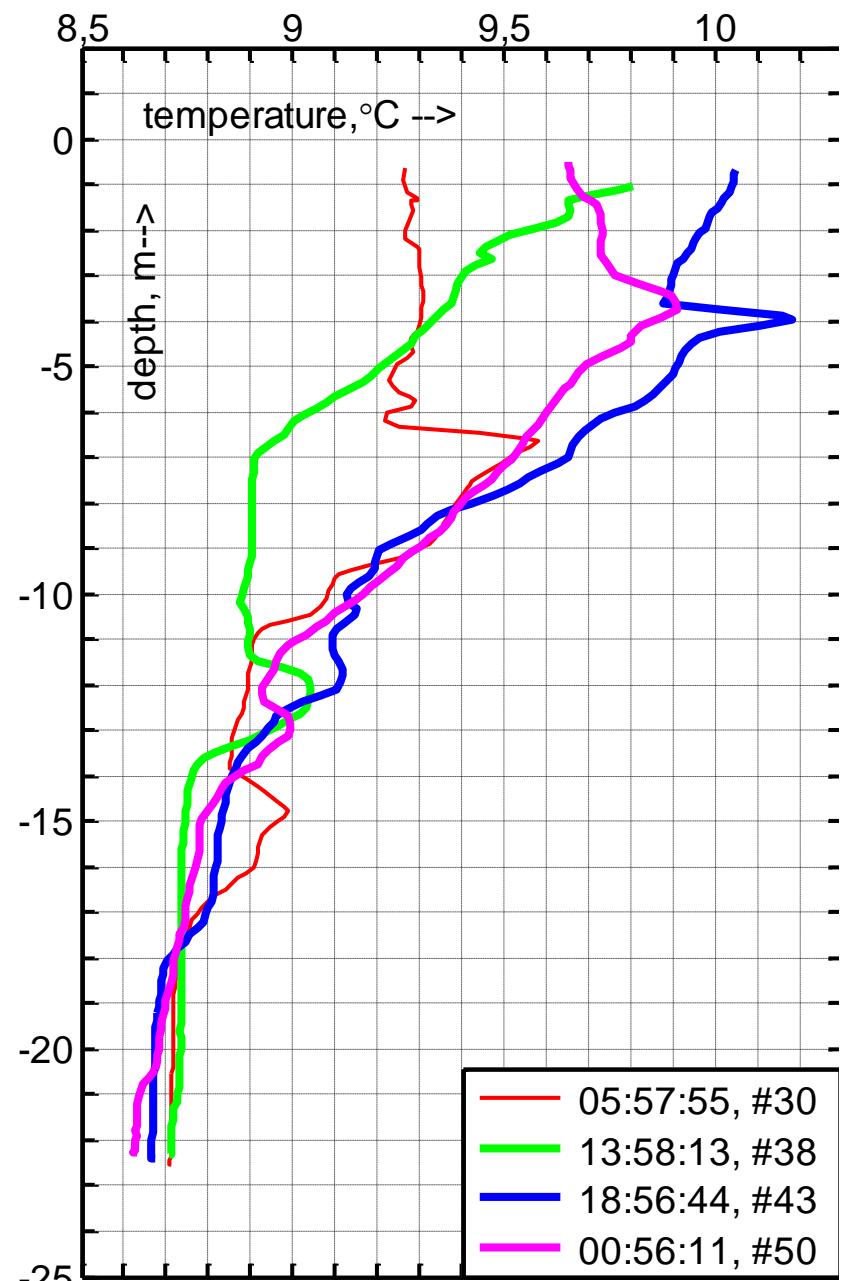


Распределение плотности воды на глубине 5 м. Байдарацкая губа.

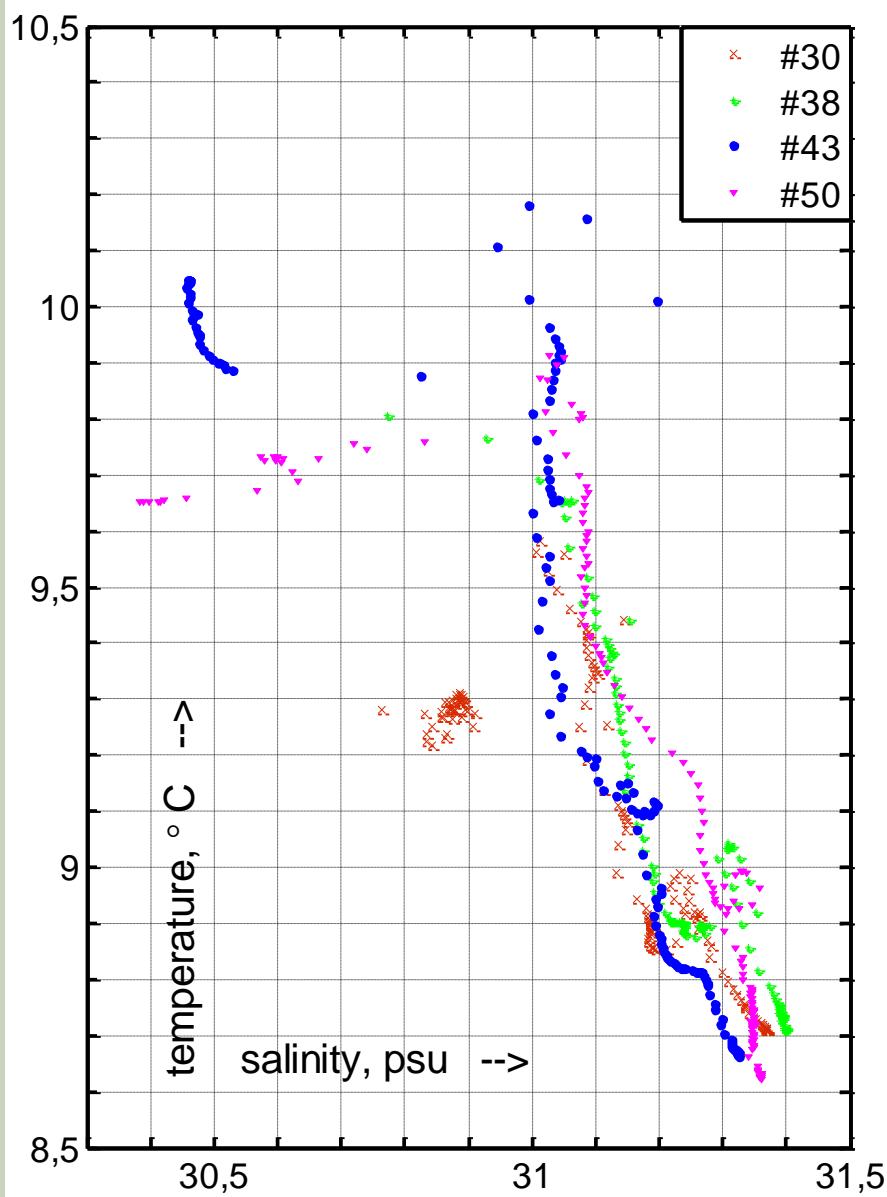
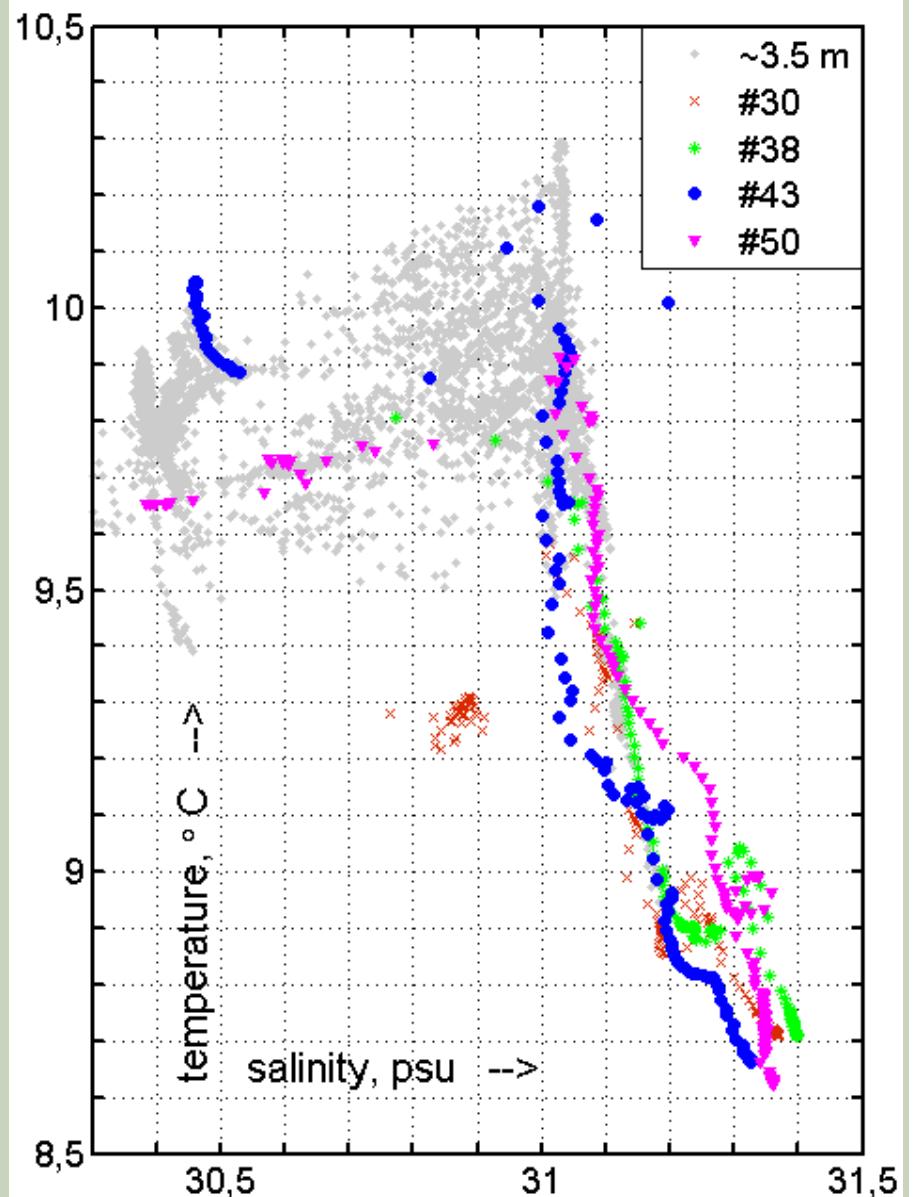


Распределение плотности воды на глубине 10 м. Байдарацкая губа.

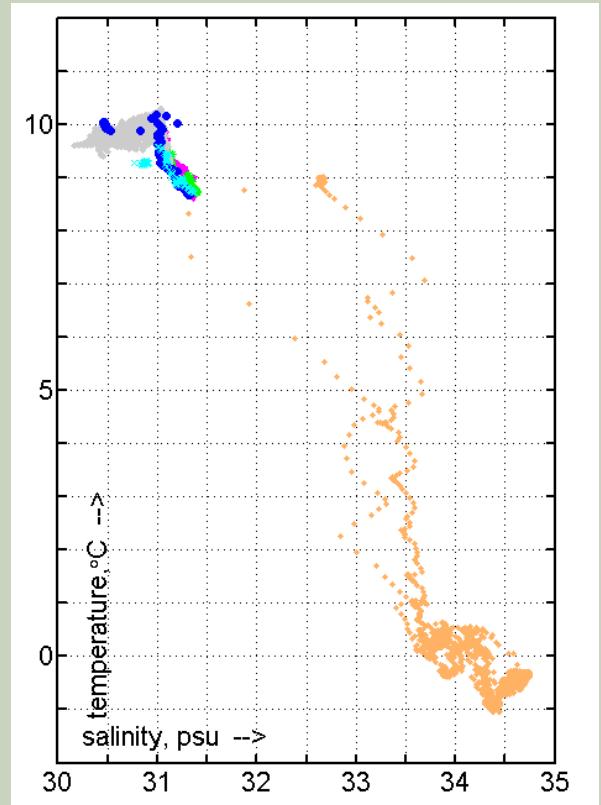
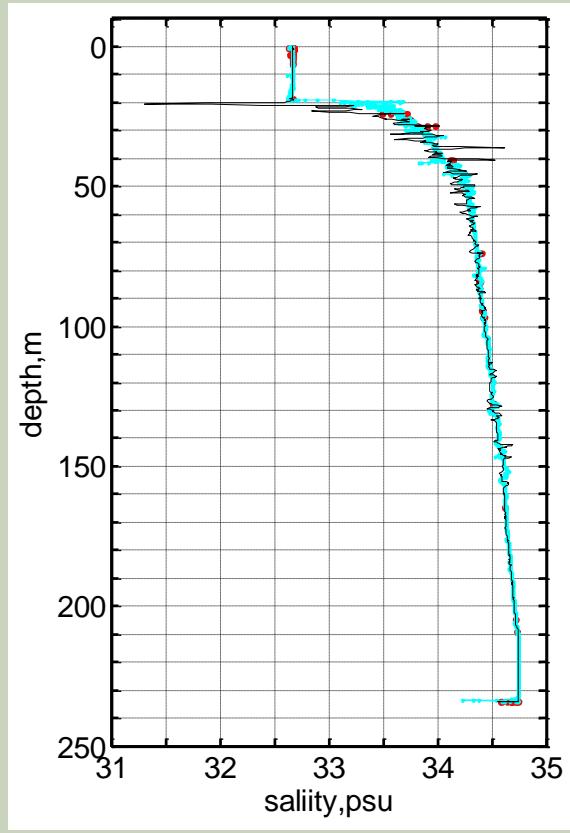
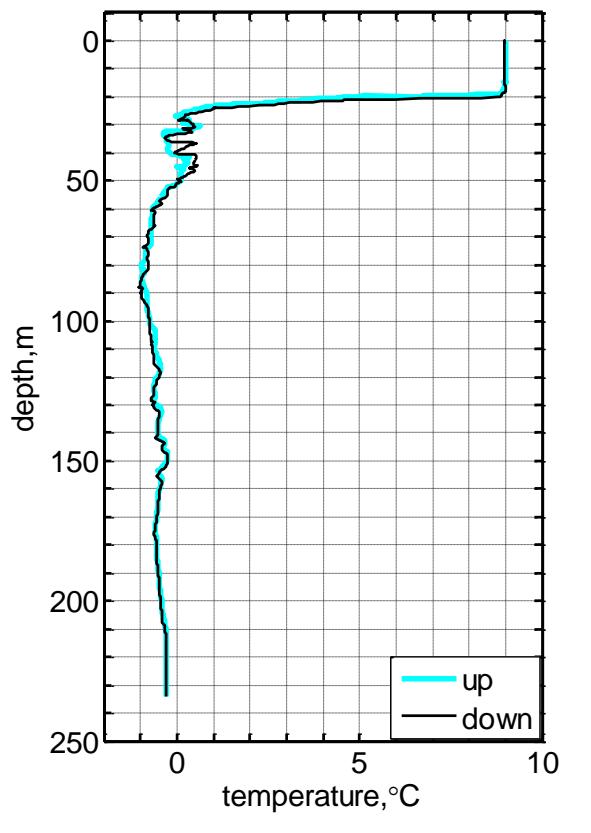
Гидрологическая съёмка в июле-августе 2012 г., в юго-западной части Карского моря (Байдарацкая губа) с борта НИС "Иван Петров".
Температура на горизонтах 1, 5 и 10 м.



Гидрологические зондирования на суточной станции (27 июля 2012 г.) в юго-западной части Карского моря (Байдарацкая губа).



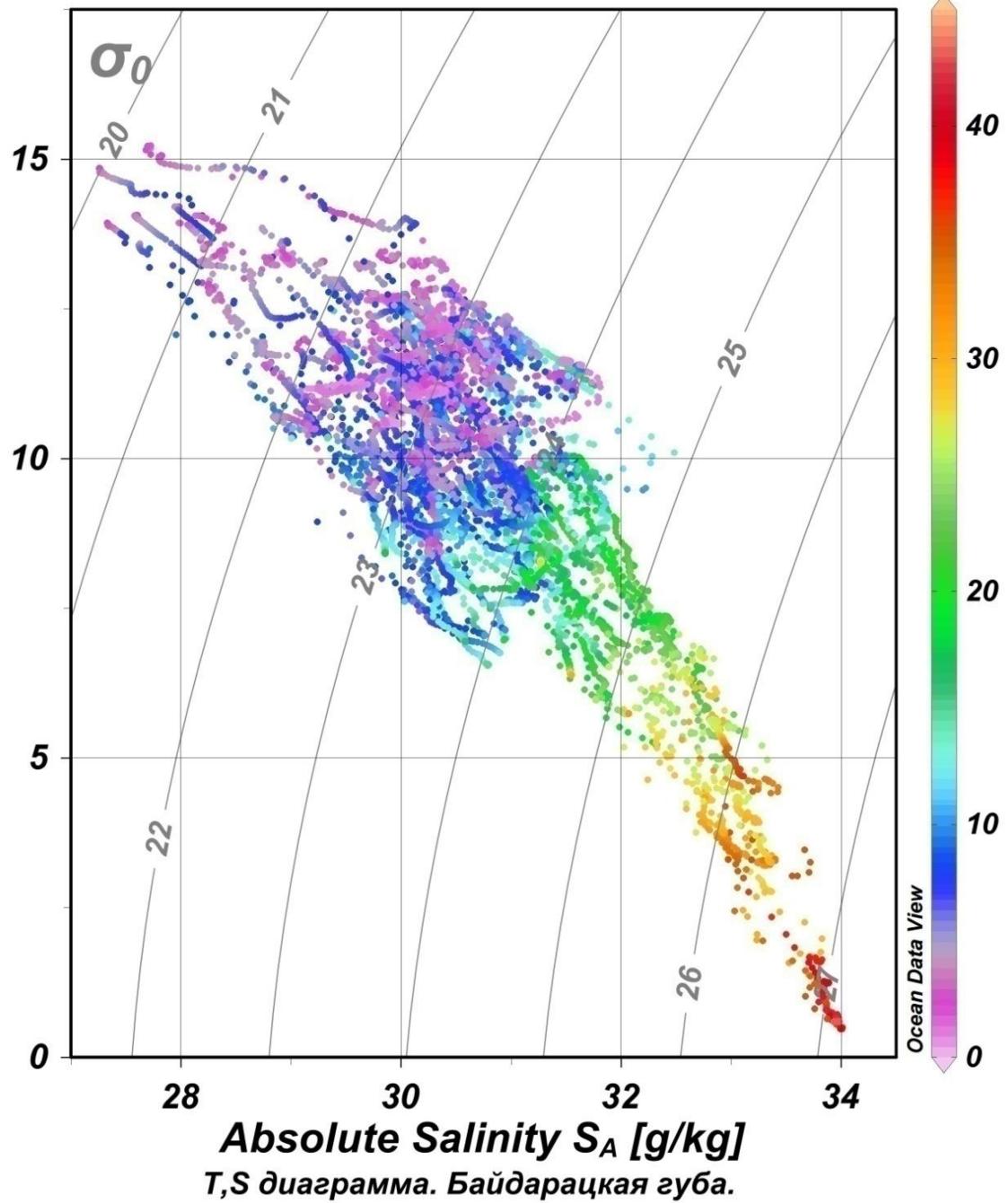
Т-С диаграмма по данным зондирований на суточной станции (27 июля 2012 г.), в юго-западной части Карского моря (Байдарацкая губа).



Гидрологические зондирования и T-S диаграмма в глубоководной части Карского моря.

Pressure, Strain Gauge [db]

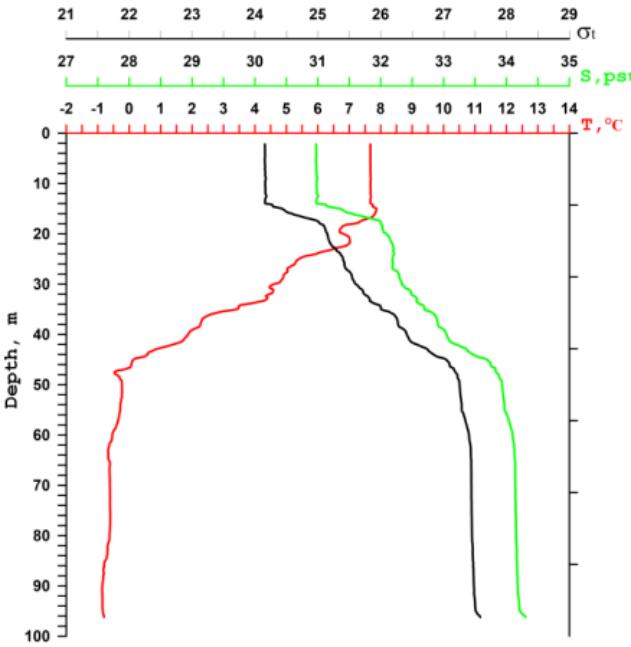
Conservative Temperature Θ [degC]



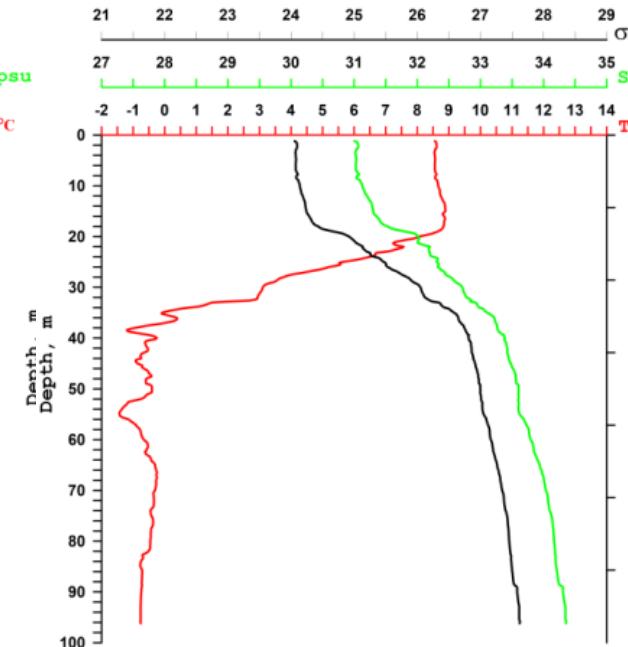
Absolute Salinity S_A [g/kg]
T-S диаграмма. Байдарацкая губа.

Т-С диаграмма по данным
гидрологических
зондирований
в июле-августе 2012 г., в
юго-западной части Карского
моря (Байдарацкая губа) с
борта НИС "Иван Петров".

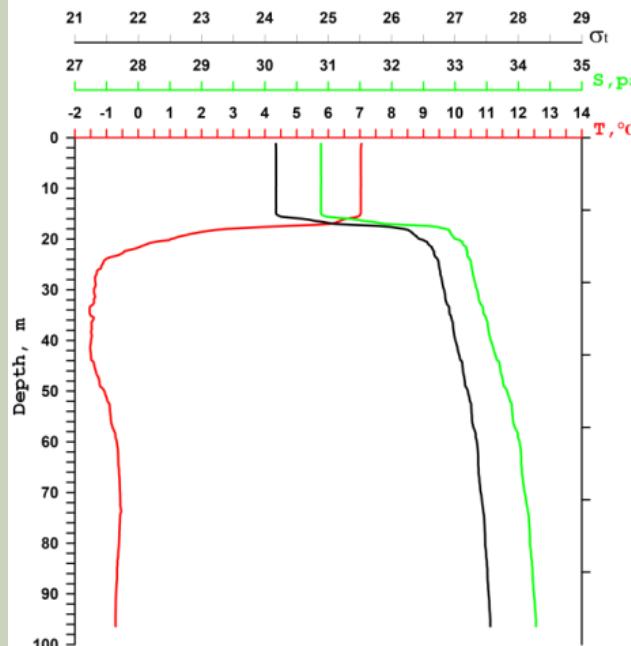
Cruise AMK-89-1
Station AMK- 7440A / 01:44 14.09.2022



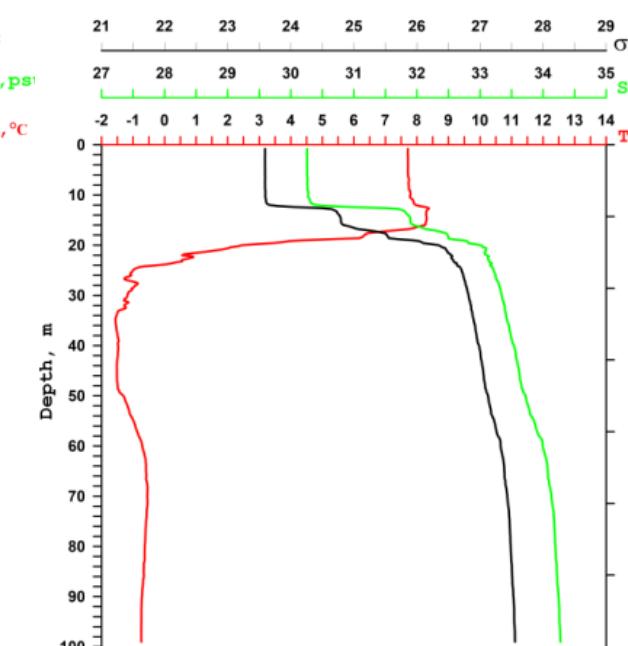
Cruise AMK-89-1
Station AMK- 7440 / 07:16 10.09.2022



Cruise AMK-89-1
Station AMK- 7441A / 08:38 14.09.2022



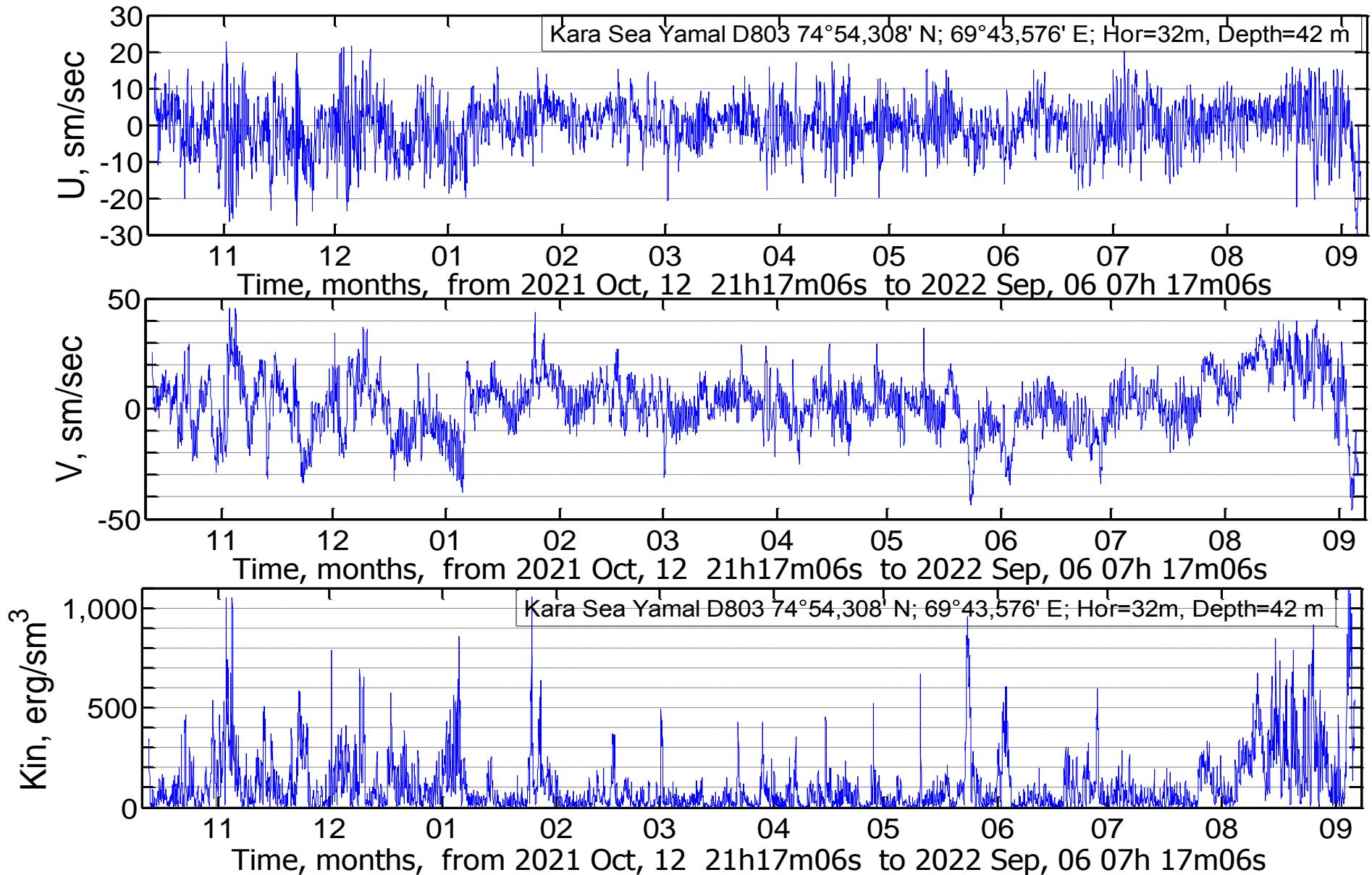
Cruise AMK-89-1
Station AMK- 7441 / 16:02 10.09.2022



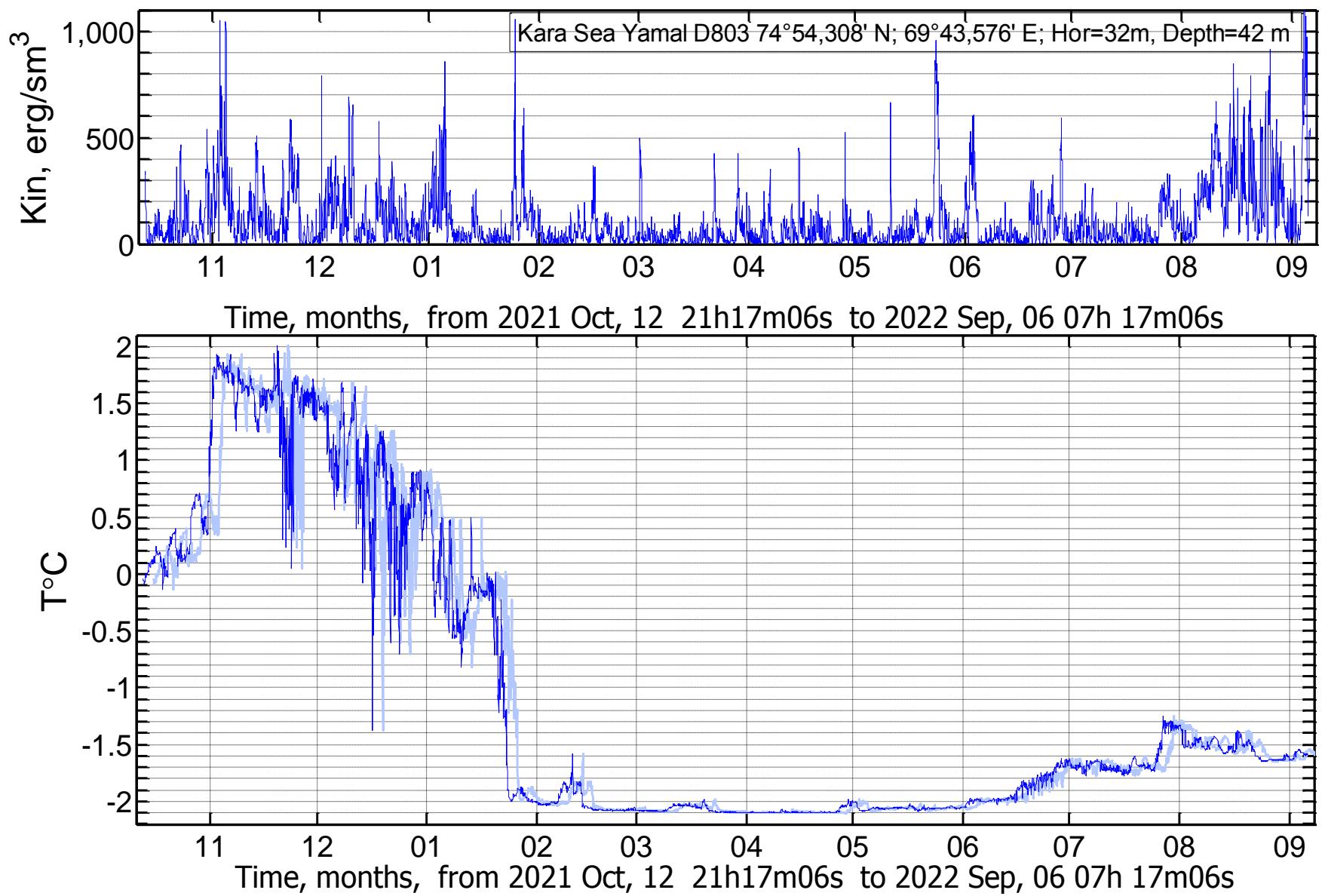
Вертикальные
распределения СТД-
параметров на ст.7440 и
7441 при постановке и
снятии буев в ЮЗ части
Карского моря.

Течения около западного побережья полуострова Ямал

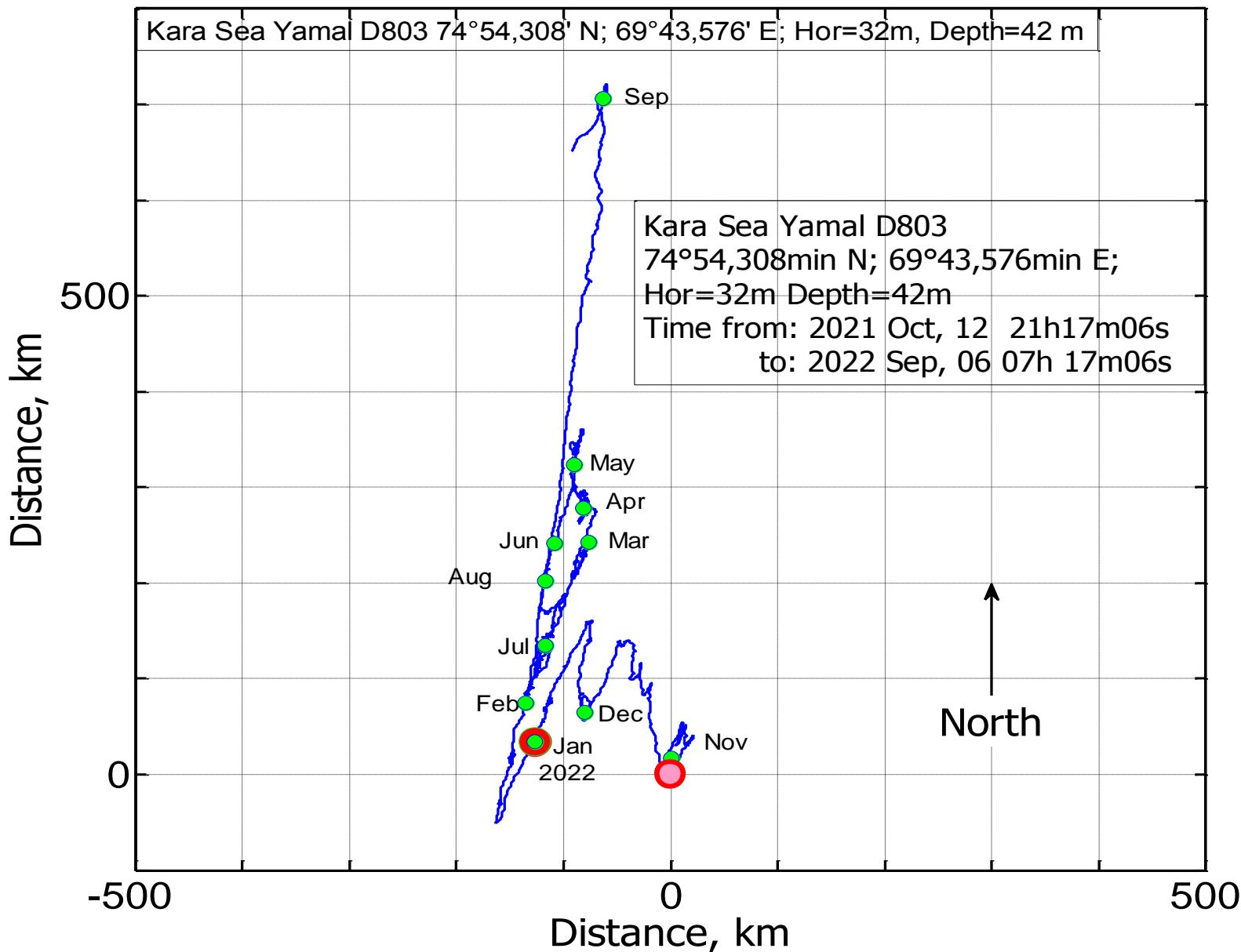
Измеритель D803



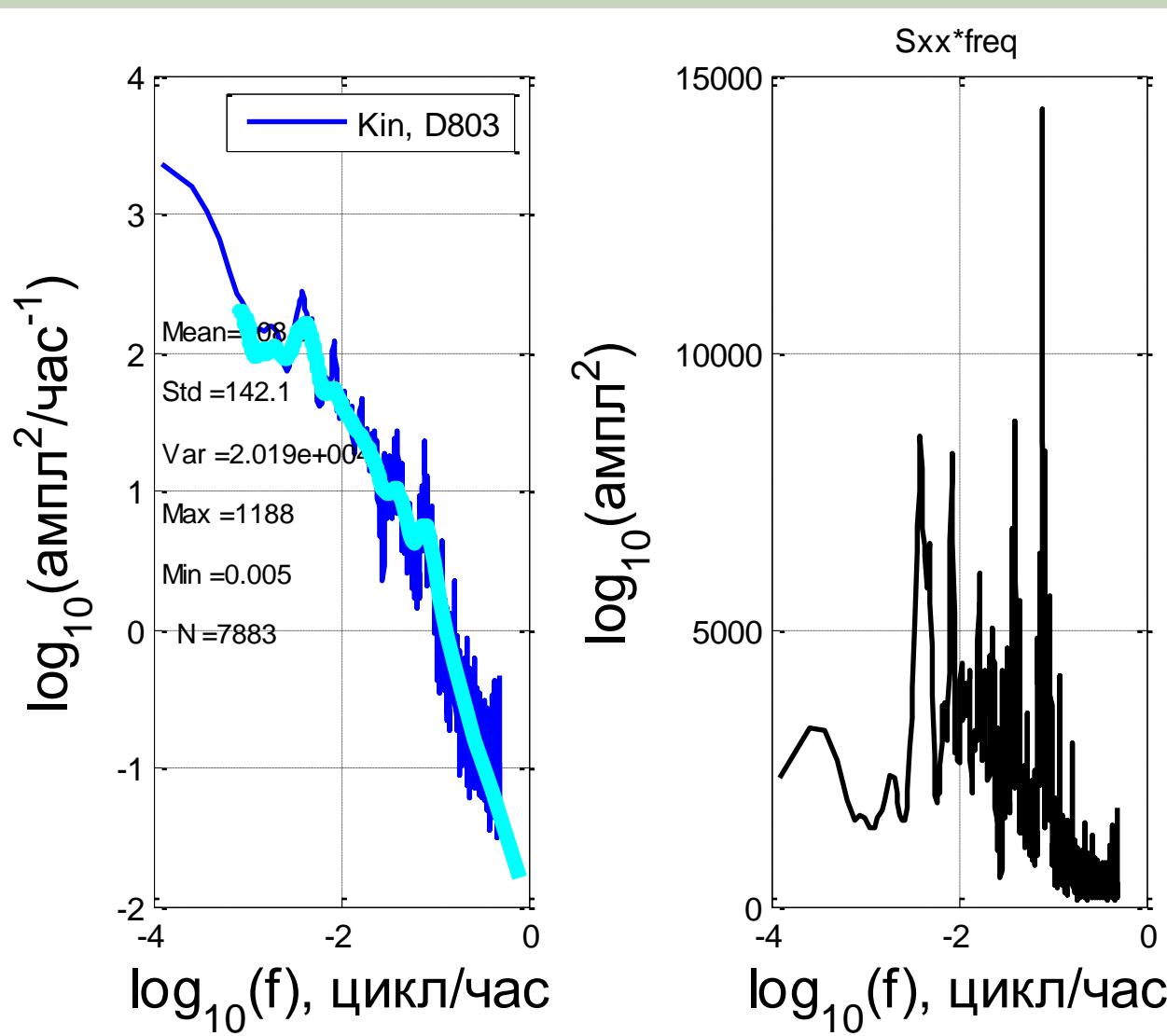
Декартовы компоненты горизонтальной скорости U, V и плотность кинетической энергии $\text{Kin}=0.5\rho(U^2+V^2)$ на глубине 32м, при глубине моря 42м, на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s .Продолжительность измерений 7945 час., 7946 значений через 1 час.



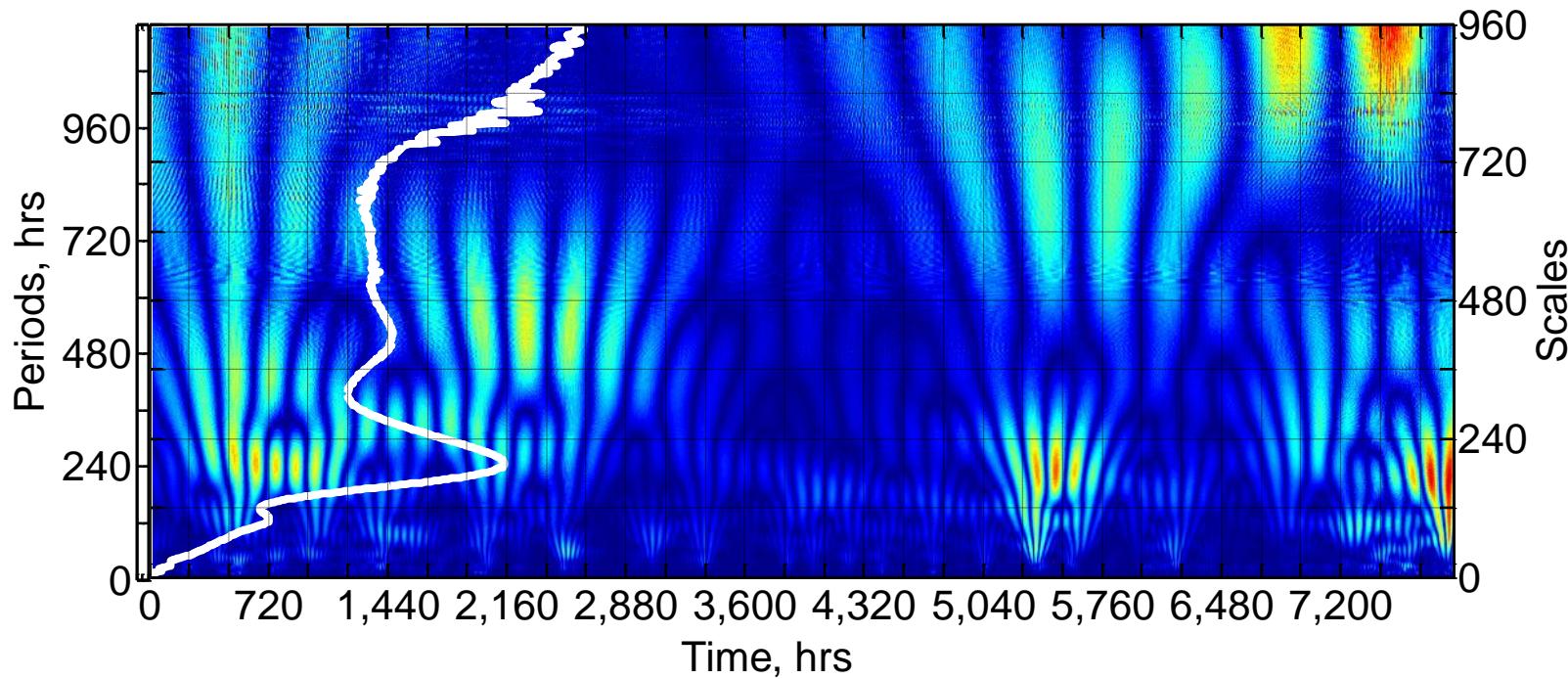
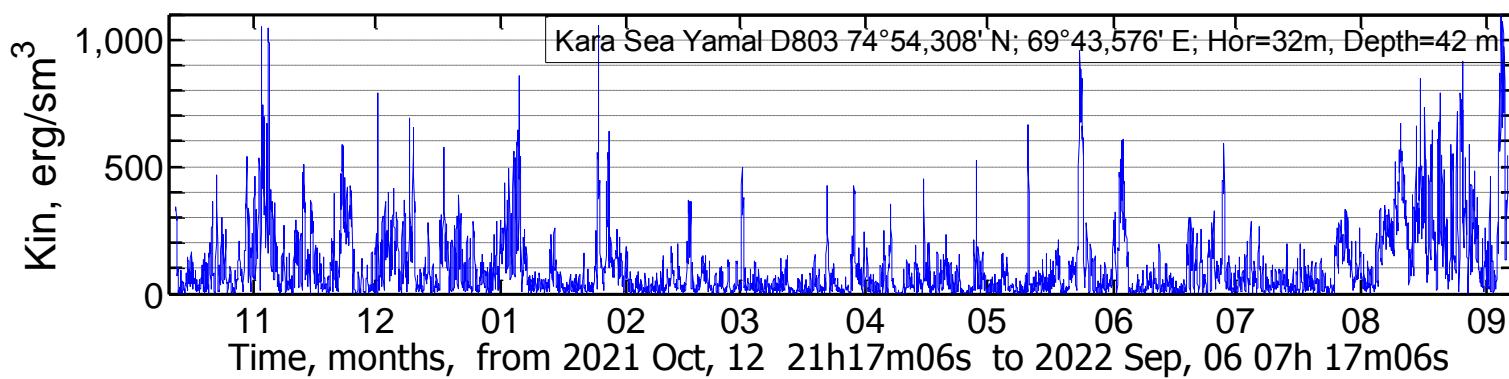
Плотность кинетической энергии $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$ и температура воды на глубине 32 м, при глубине моря 42м, на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s .
Продолжительность измерений 7945 час., 7946 значений через 1 час.



Прогрессивная векторная диаграмма скорости течений на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s .Продолжительность измерений 7945 час., 7946 значений через 1 час

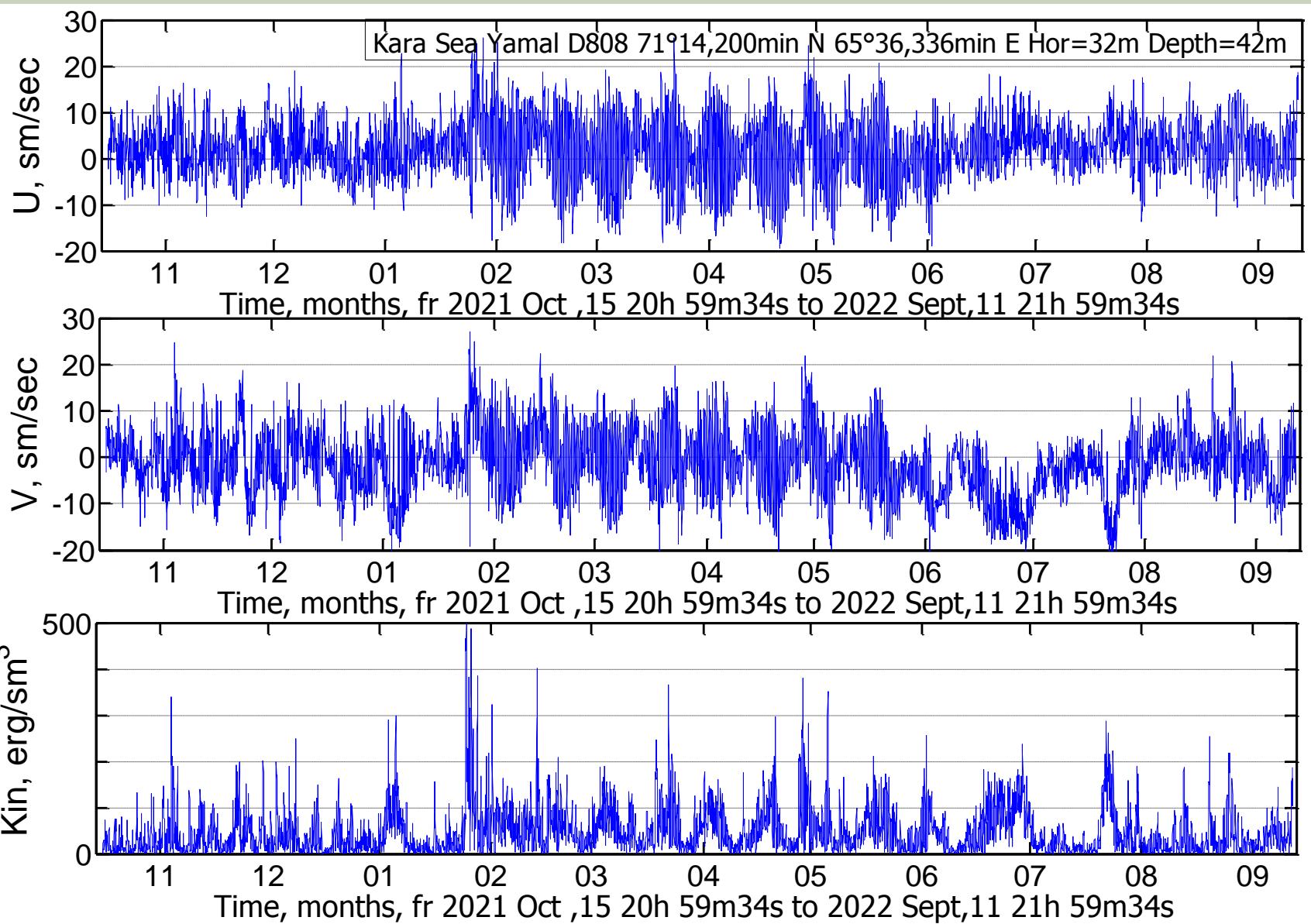


Спектральные плотности Фурье плотности кинетической энергии, - панель слева; спектр дисперсии плотности кинетической энергии (справа) на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Светлая зелёная кривая - спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени. Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s . Продолжительность измерений 7945 час., 7946 значений через 1 час.

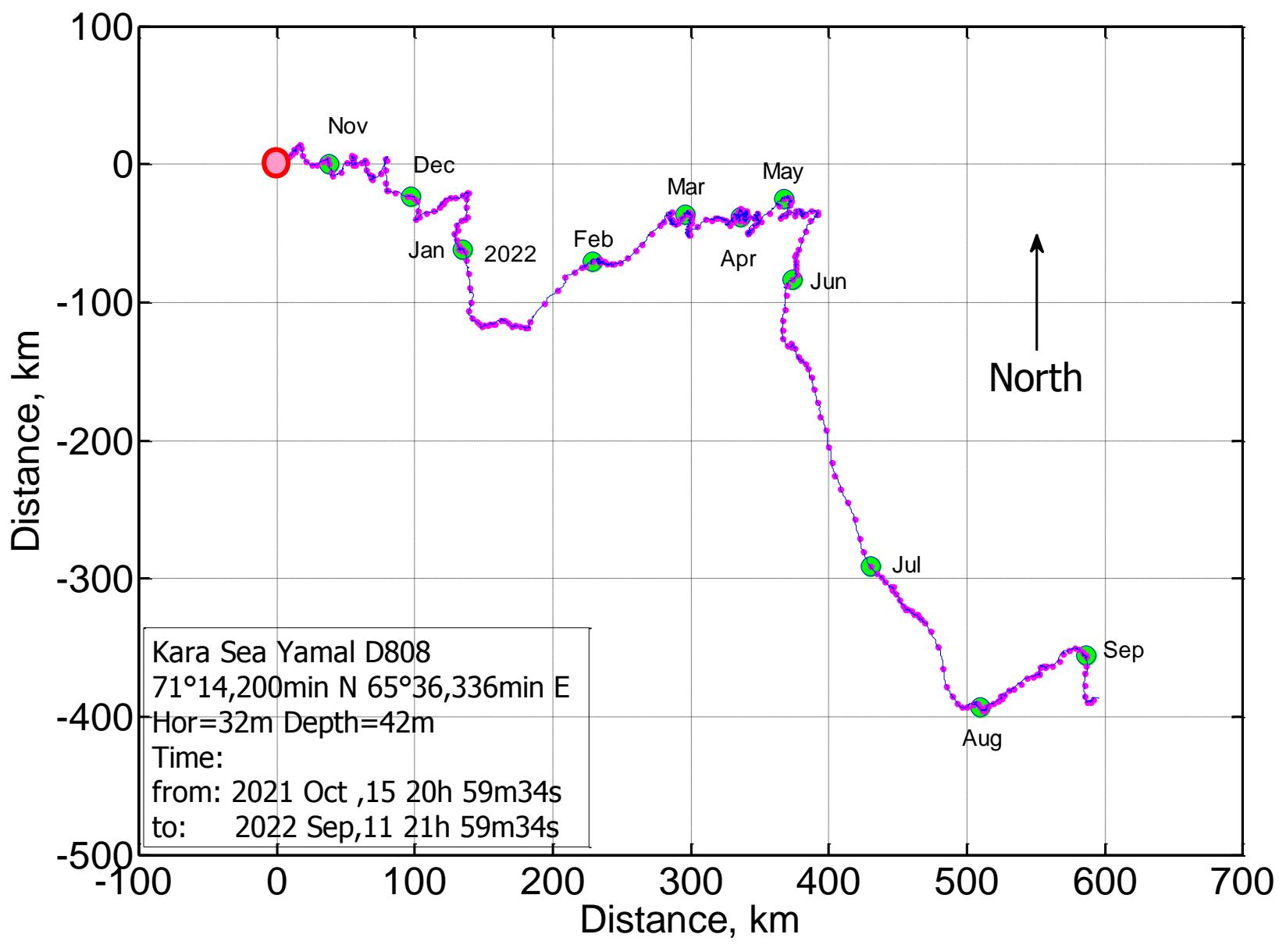


Ход плотности кинетической энергии воды $\text{Kin}=0.5\rho (U^2+V^2)$ ($\rho = 1000 \text{ кг/m}^3$) (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 1-1200 час. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Горизонт 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s . Продолжительность измерений 7945 час., 7946 значений через 1 час.

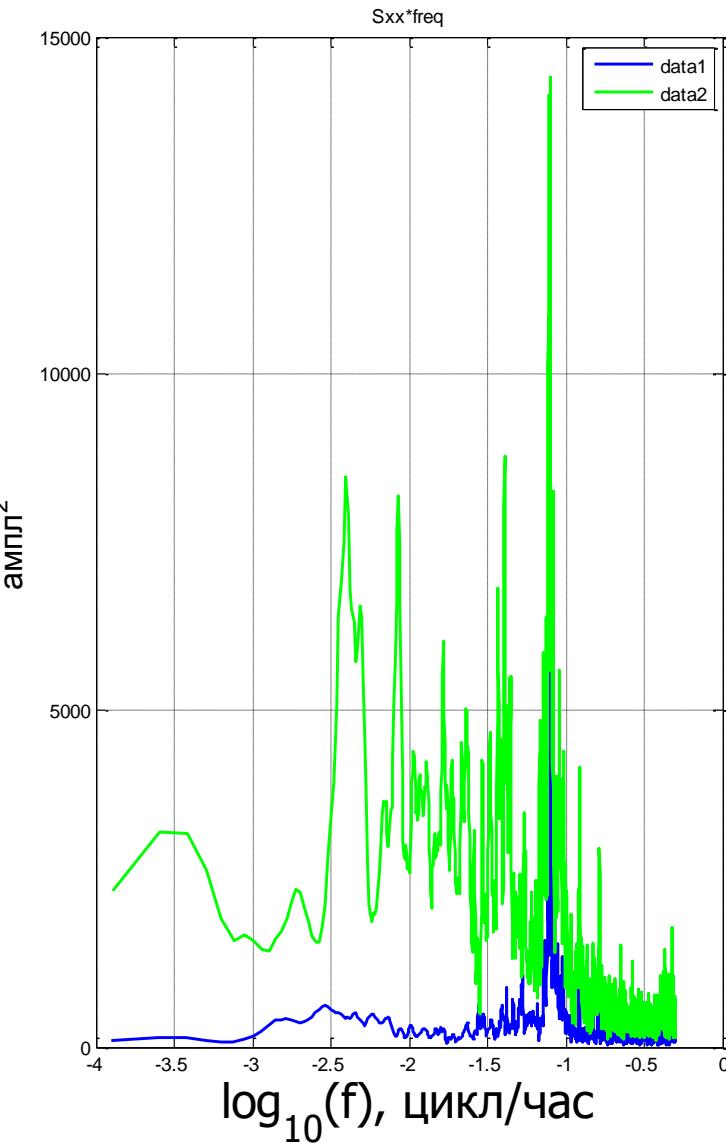
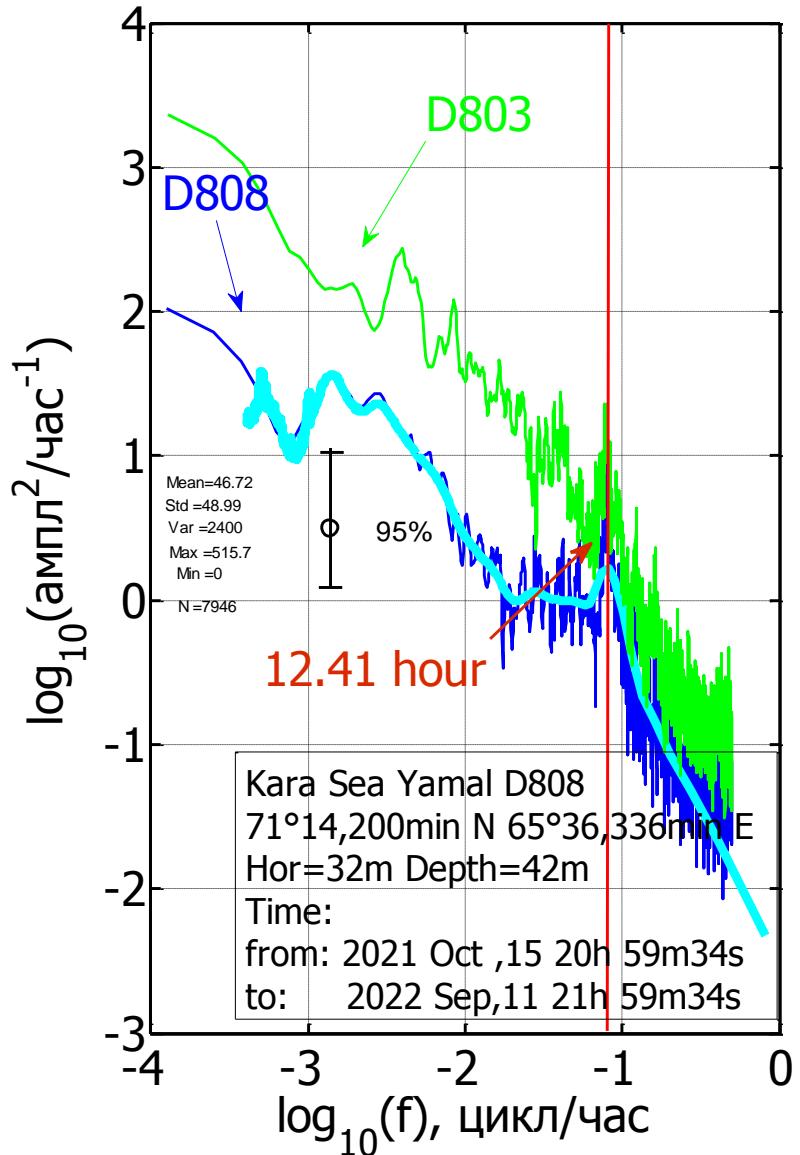
Измеритель D808



Декартовы компоненты горизонтальной скорости U, V и плотность кинетической энергии $Kin = 0.5\rho(U^2 + V^2)$ на горизонте 32 м, при глубине моря 42 м, на станции D808 в точке 74°54.308' N 69°43.576' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s. Продолж. измерений 7882 час., 7883 значений с через 1 час.

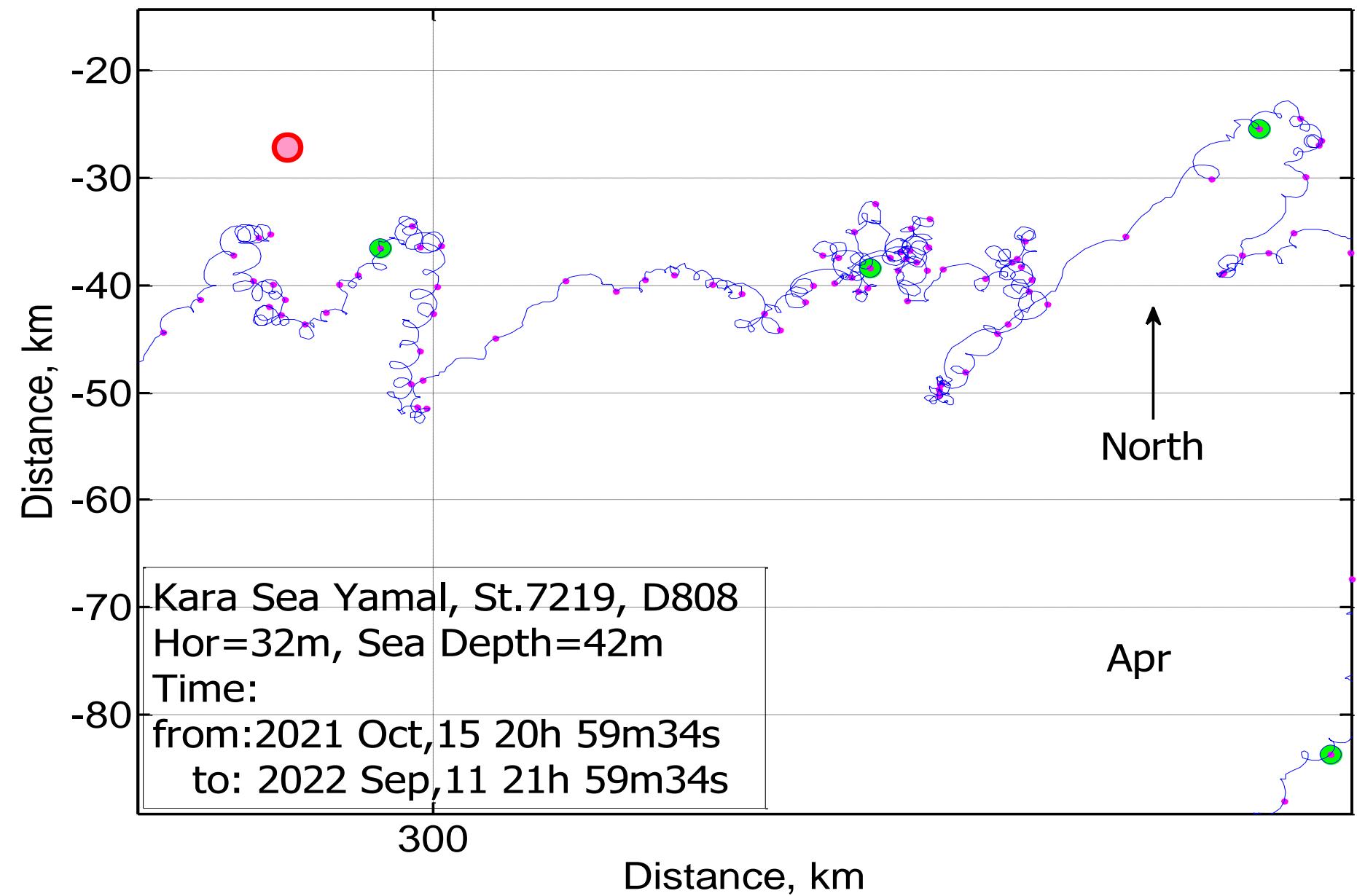


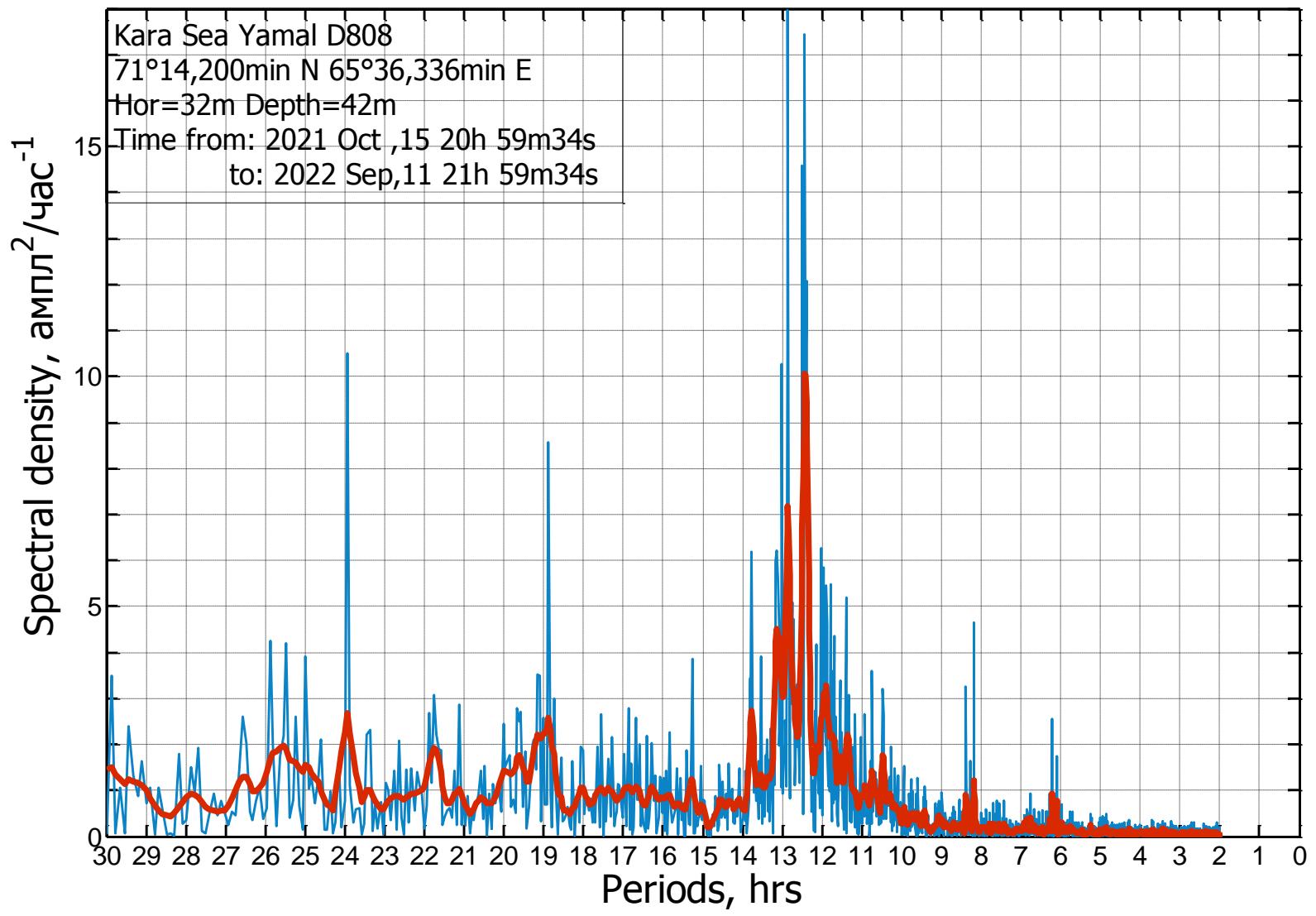
Прогрессивная векторная диаграмма скорости течений на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D808 в точке 74°54.308 'N 69°43.576 'E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s. Продолжительность измерений 7882 час., 7883 значений через 1 час.



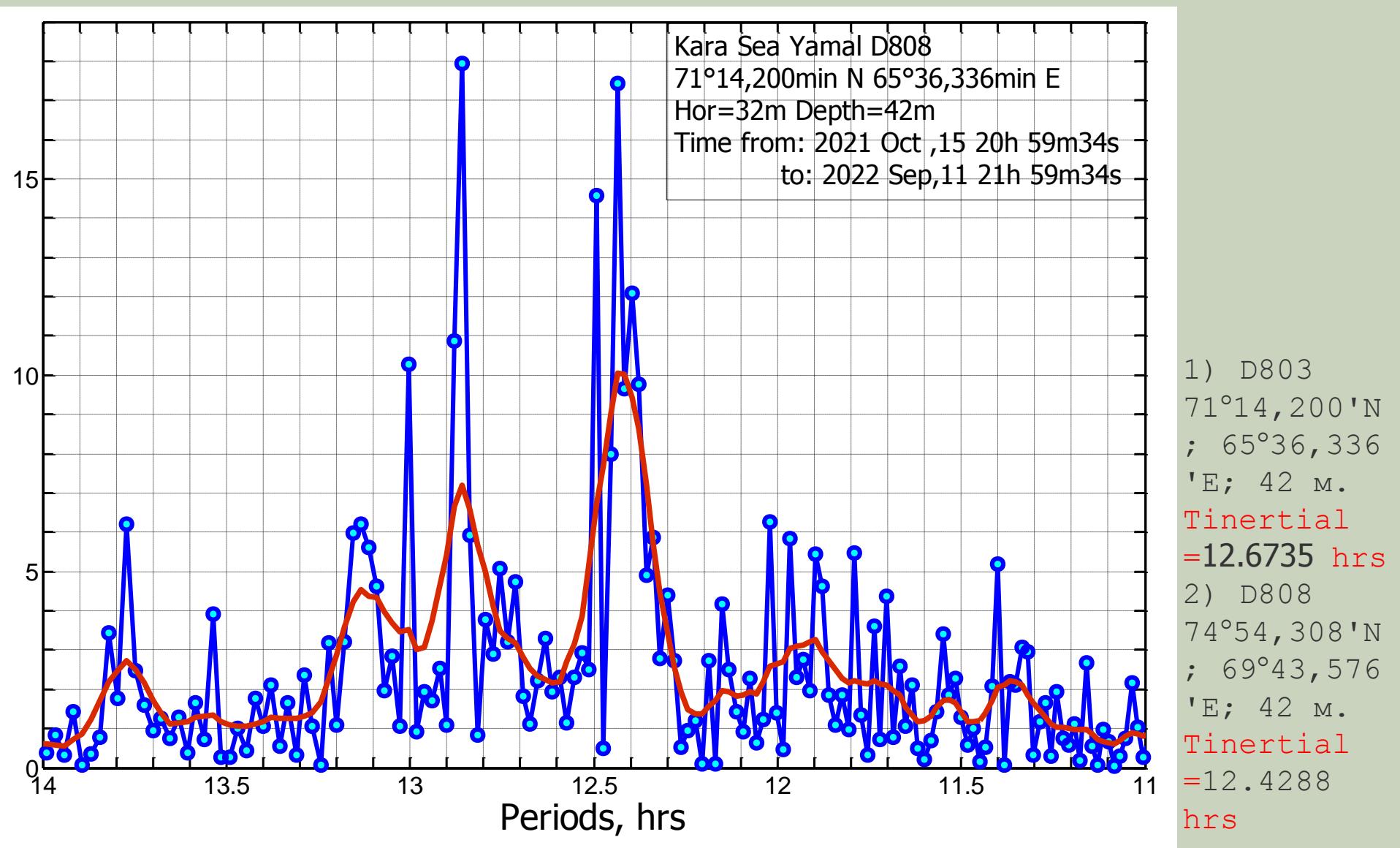
Спектральные плотности Фурье плотности кинетической энергии, - панель слева; спектр дисперсии плотности кинетической энергии (справа) на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D808 в точке 74°54.308 ' N 69°43.576 ' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s.

Продолжительность измерений 7882 час., 7883 значений через 1 час.

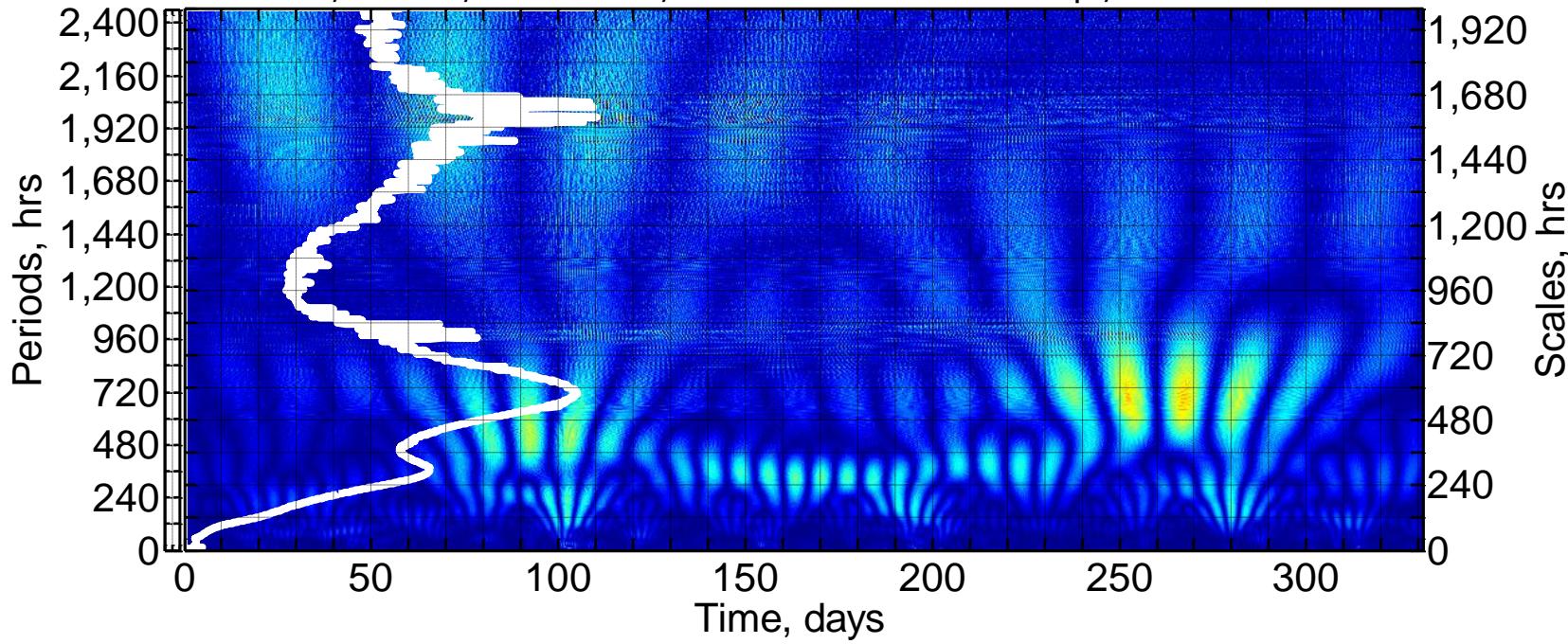
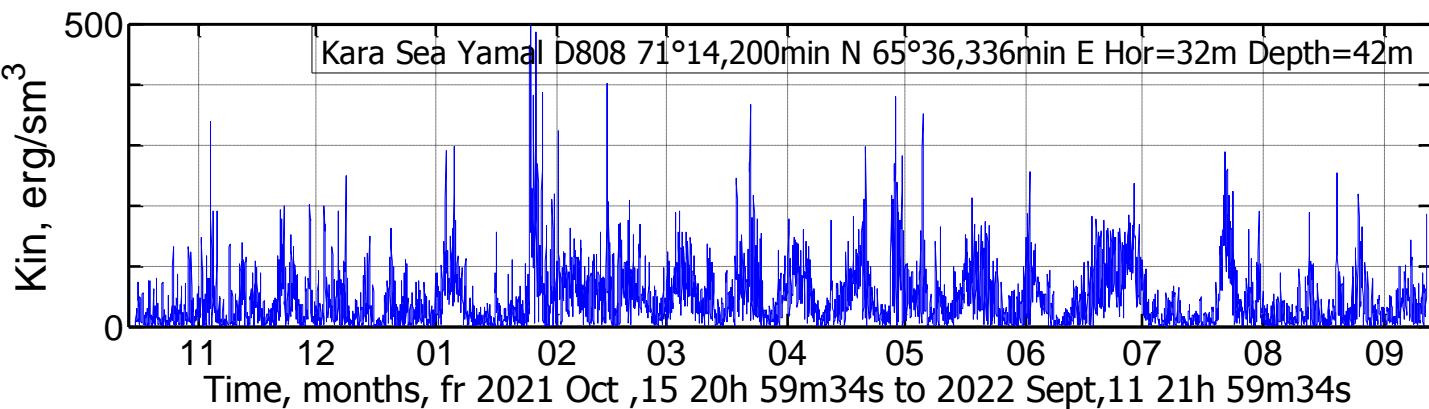




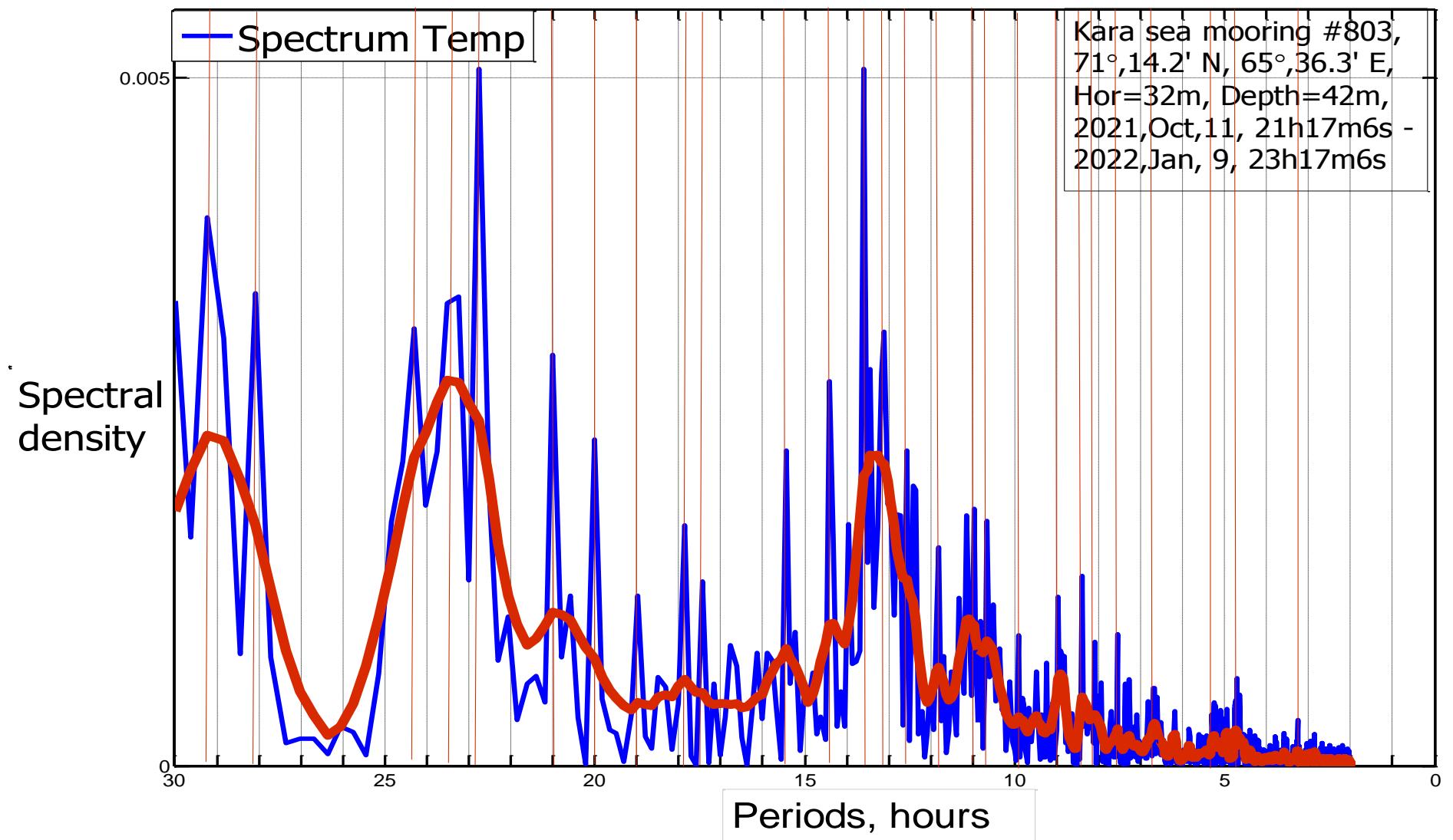
Спектральные плотности Фурье плотности кин. энергии течений на шкале периодов в диапазоне 30-2 час. Красная жирная линия обозначает сглаженный спектр. Измеритель на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D808 в точке 74°54.308' N 69°43.576' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s. Продолжительность измерений 7882 час., 7883 значений через 1 час.



Спектральные плотности Фурье плотности кин. энергии течений на шкале периодов в диапазоне 14-11 час. Красная жирная линия обозначает сглаженный спектр. Измеритель на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D808 в точке 74°54.308' N 69°43.576' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s. Продолжительность измерений 7882 час., 7883 значений через 1 час.

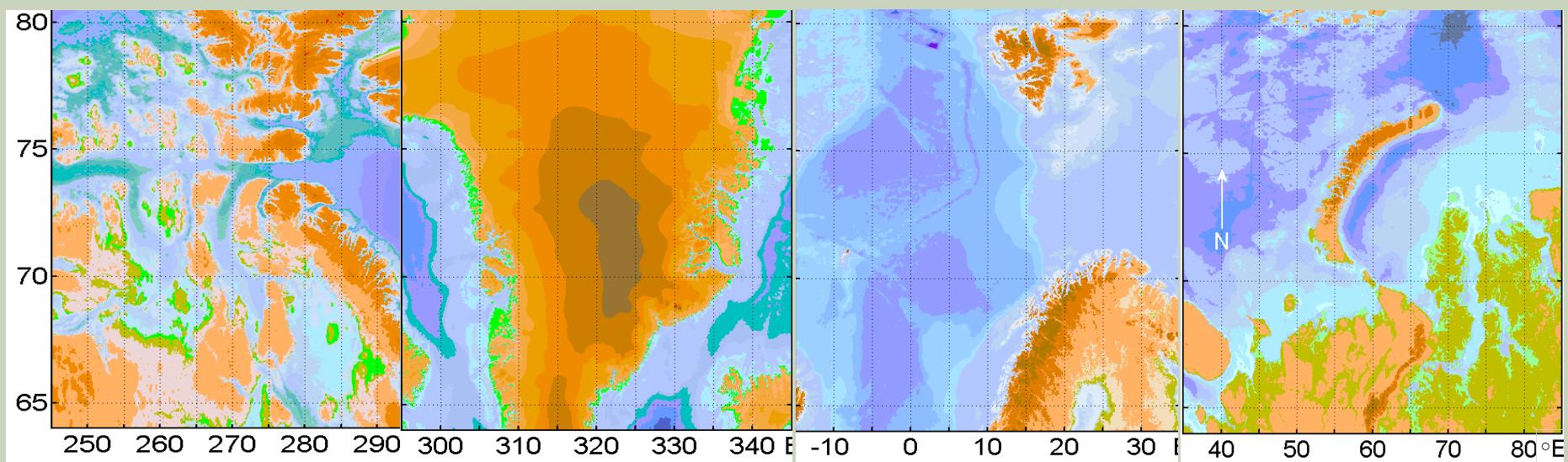
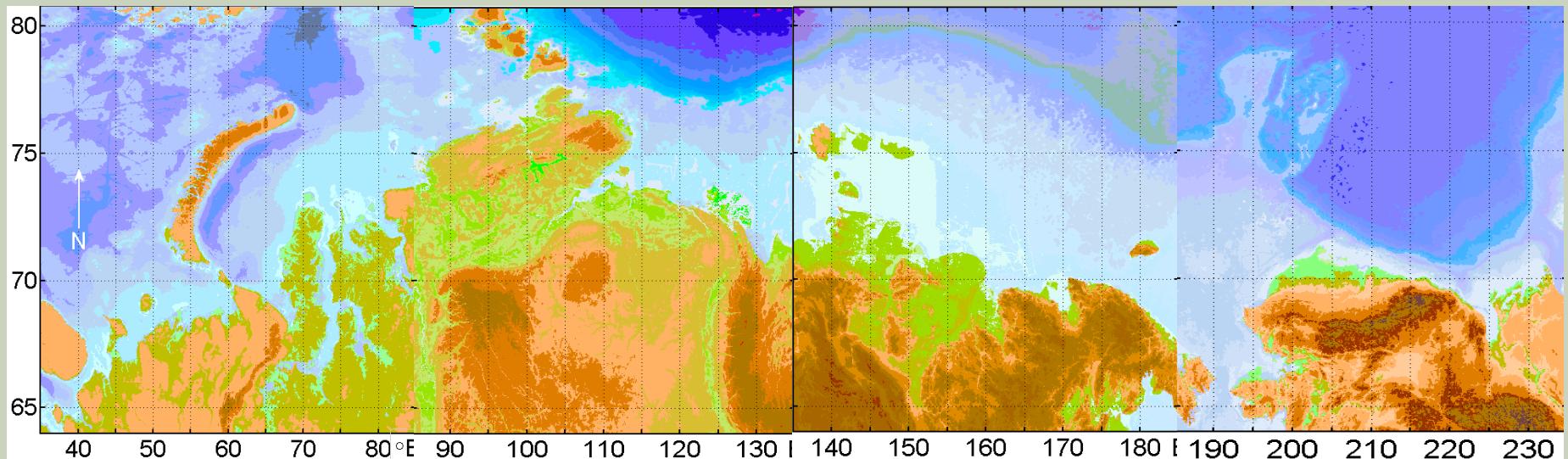


Ход плотности кинетической энергии воды $\text{Kin}=0.5\rho (\text{U}^2+\text{V}^2)$ ($\rho = 1000 \text{ кг/m}^3$) (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 0-100 сут. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Горизонт 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D808 в точке 74°54.308' N 69°43.576' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s. Продолжительность измерений 7882 час., 7883 значений через 1 час.



Спектральные плотности Фурье температуры воды на шкале периодов в диапазоне 30-0 час. Красная жирная линия обозначает сглаженный спектр. Измеритель на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), в точке 71°,14.2' N, 65°,36.3' E (Карское море). Время: с 2021,Oct,11, 21h17m6s по 2022,Jan, 9, 23h17m6s. Продолжительность измерений 2162 часа, 2163 значений с дискретностью через 1 час.

Разномасштабный ветер и течения



Рельеф земной поверхности и дна моря в арктическом регионе. Шкала высот до 3500 м, глубин - 6000 метров. Данные из Smith, W.H.F. and DT.Sandwell (1997), разрешение 1'. Smith, W. H. F., and D.T. Sandwell (1997), "Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings", Science, v.vol. 277, pp, 957-1962.

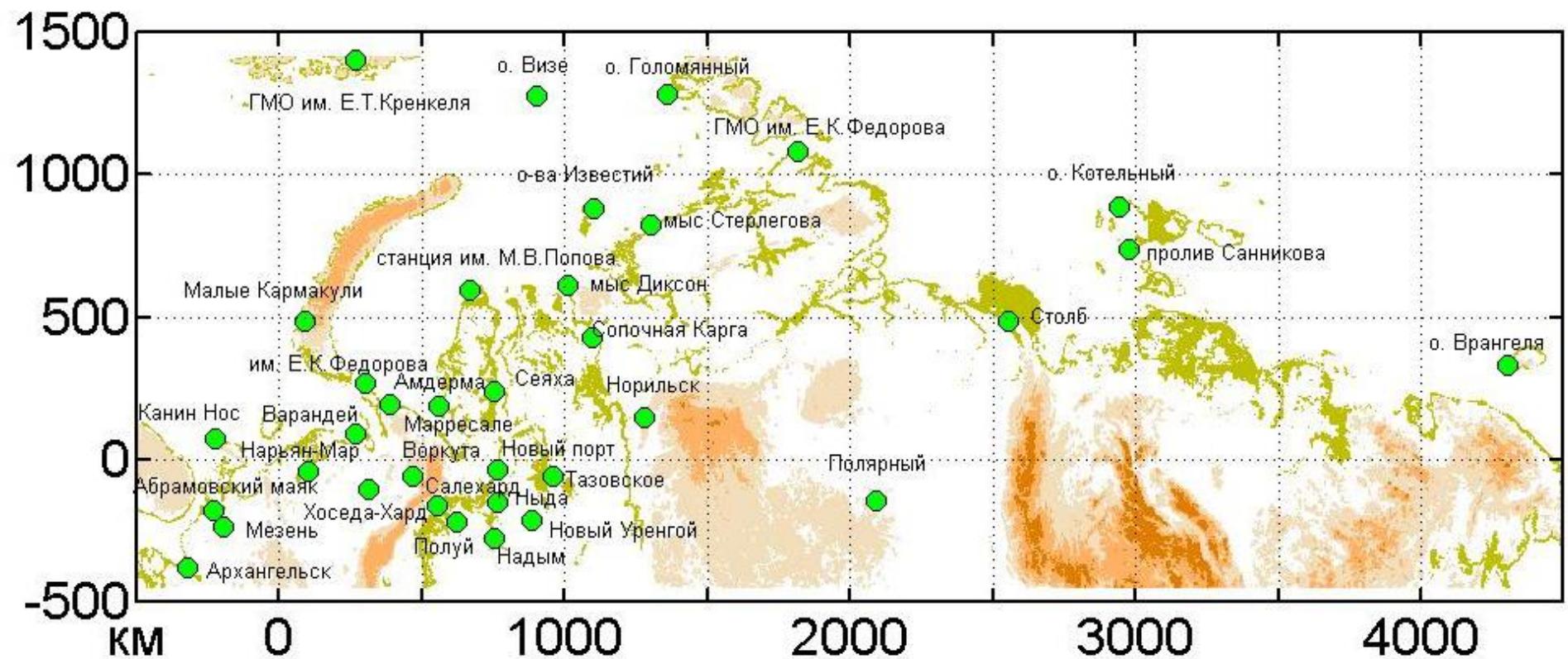
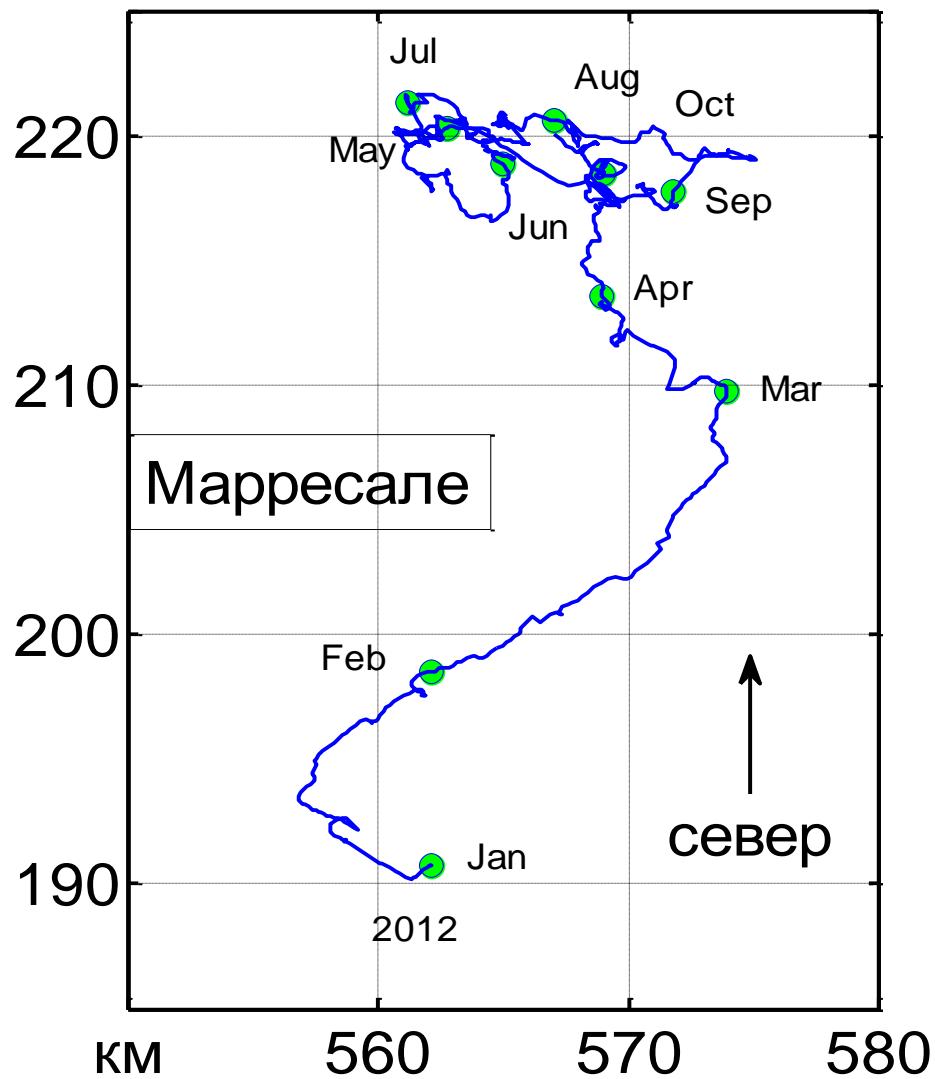
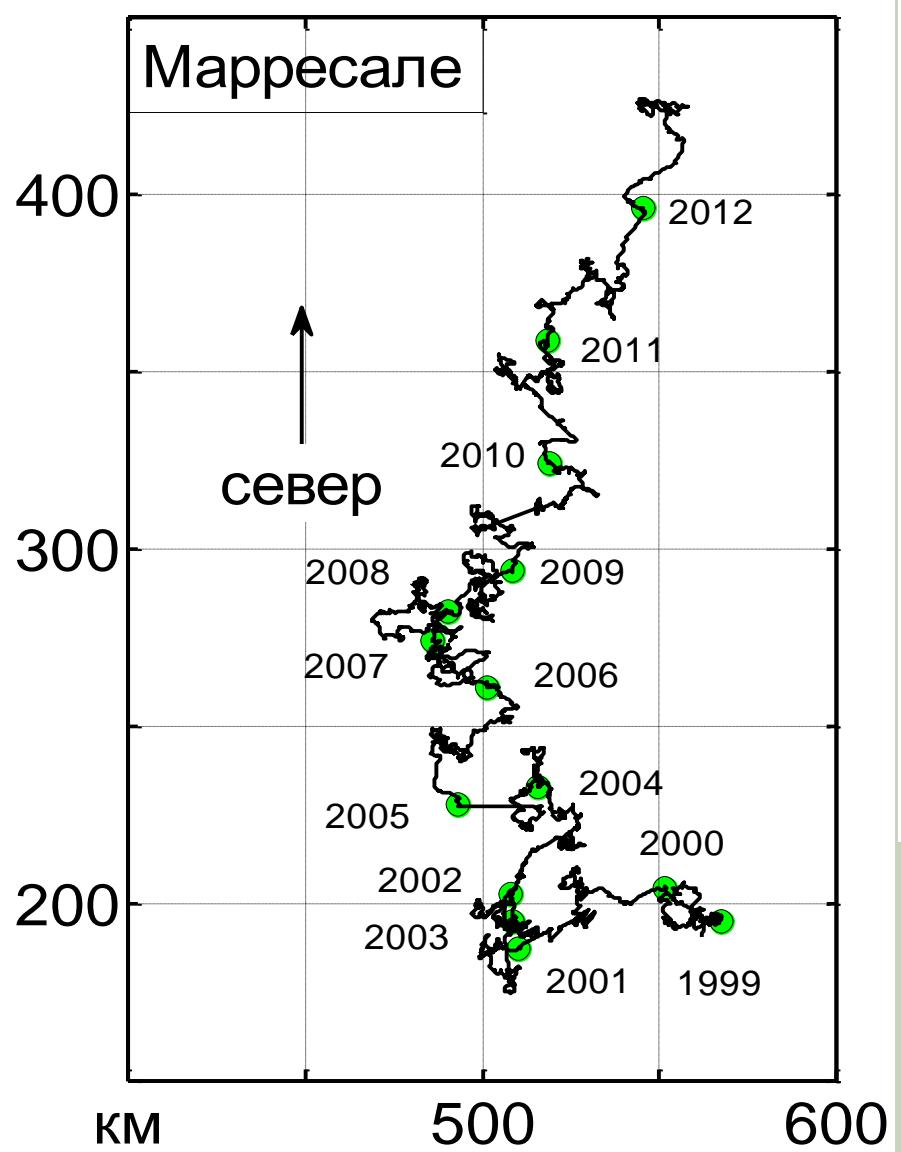
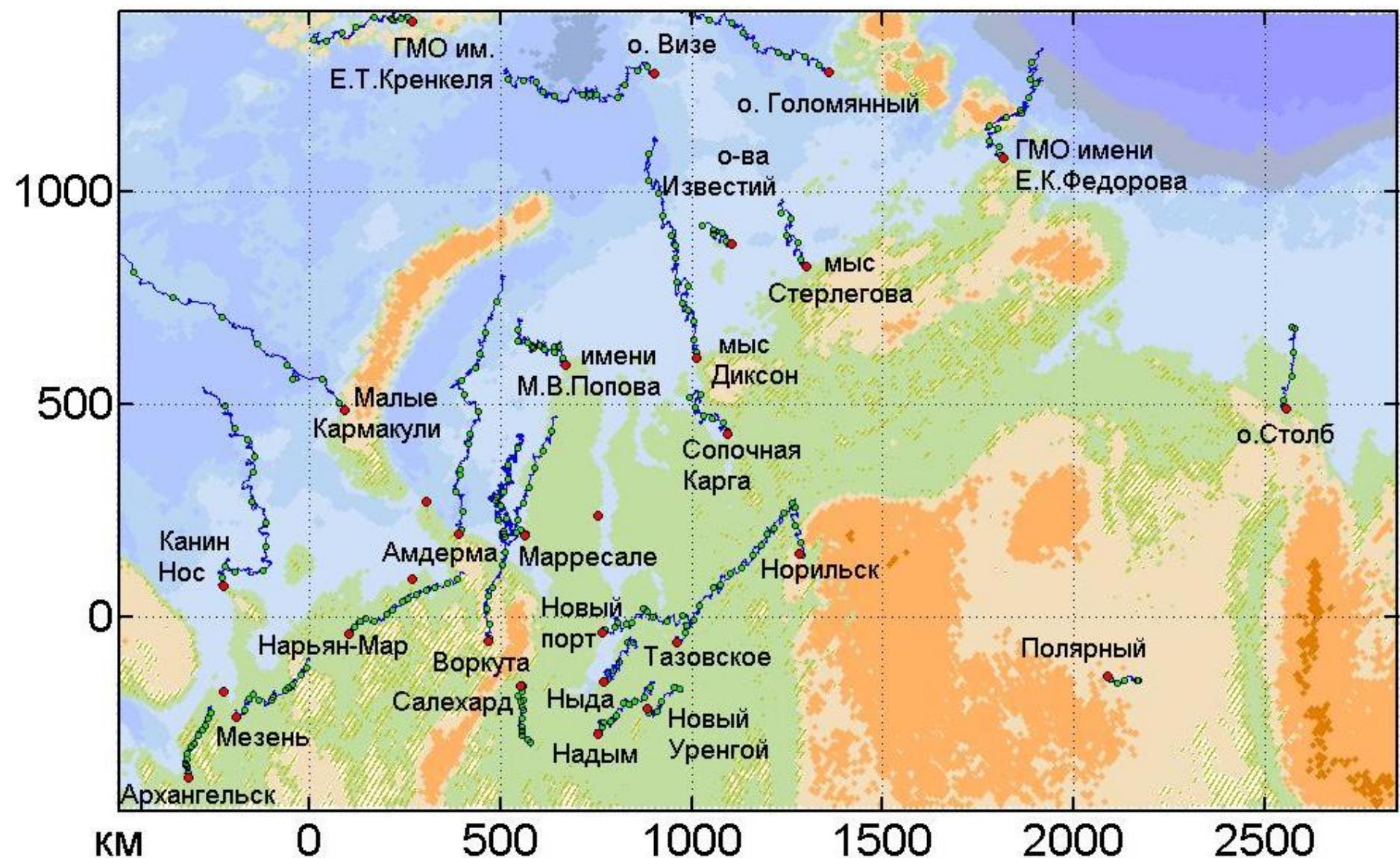


Схема расположения метеостанций, данные которых выложены в открытом доступе.





Сводная карта долговременных воздушных течений в русской Арктике.

Точка расчета прогноза погоды на метеостанции им. М.В.Попова:

73° 20' с.ш., 70° 03' в.д.; 6 м

Расстояние: 446,76 км (277,61 мил.)

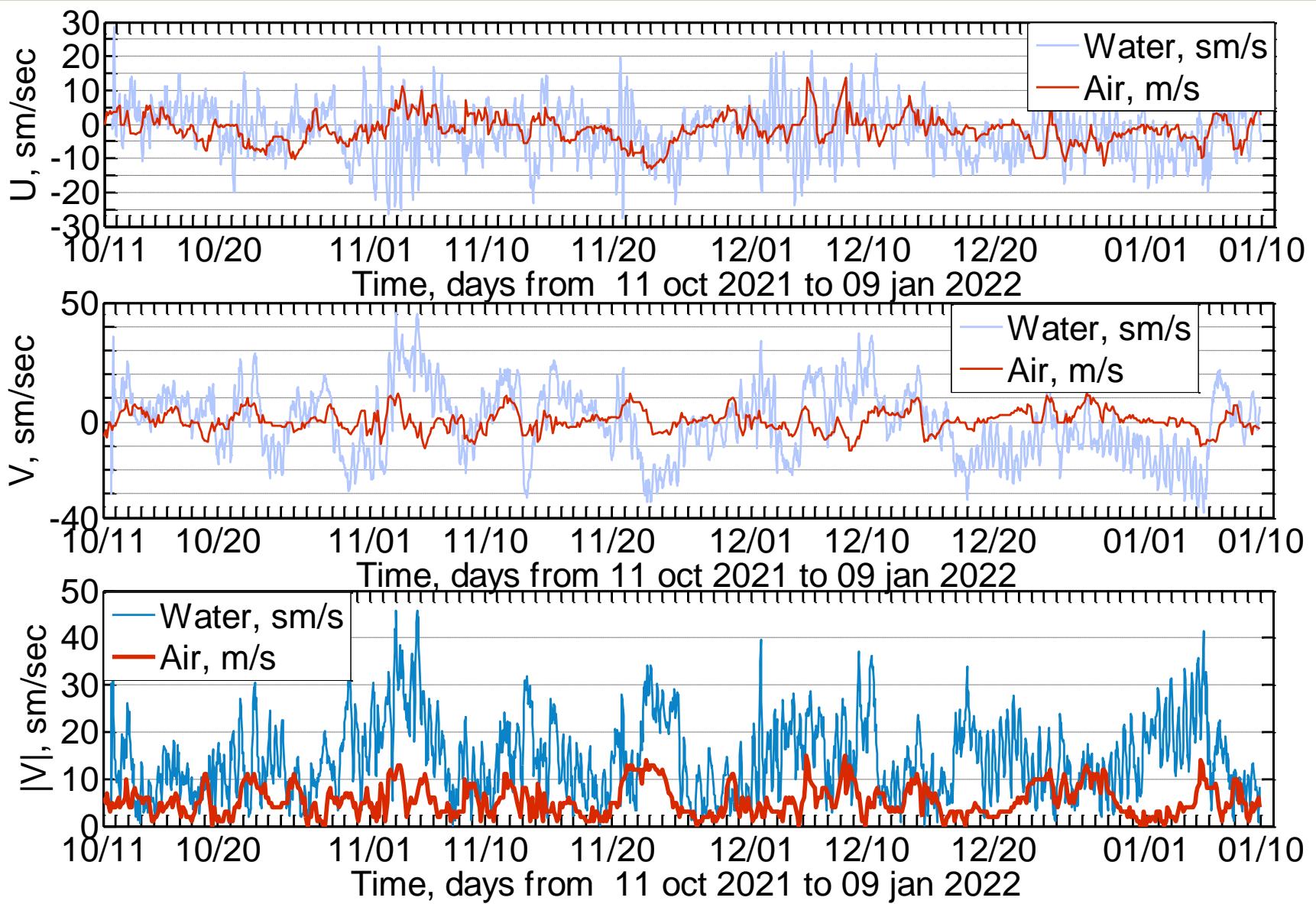
Точка расчета прогноза погоды в Сабетте (аэропорт):

71° 12.936' с.ш., 72° 2.772' в.д.; 5 м

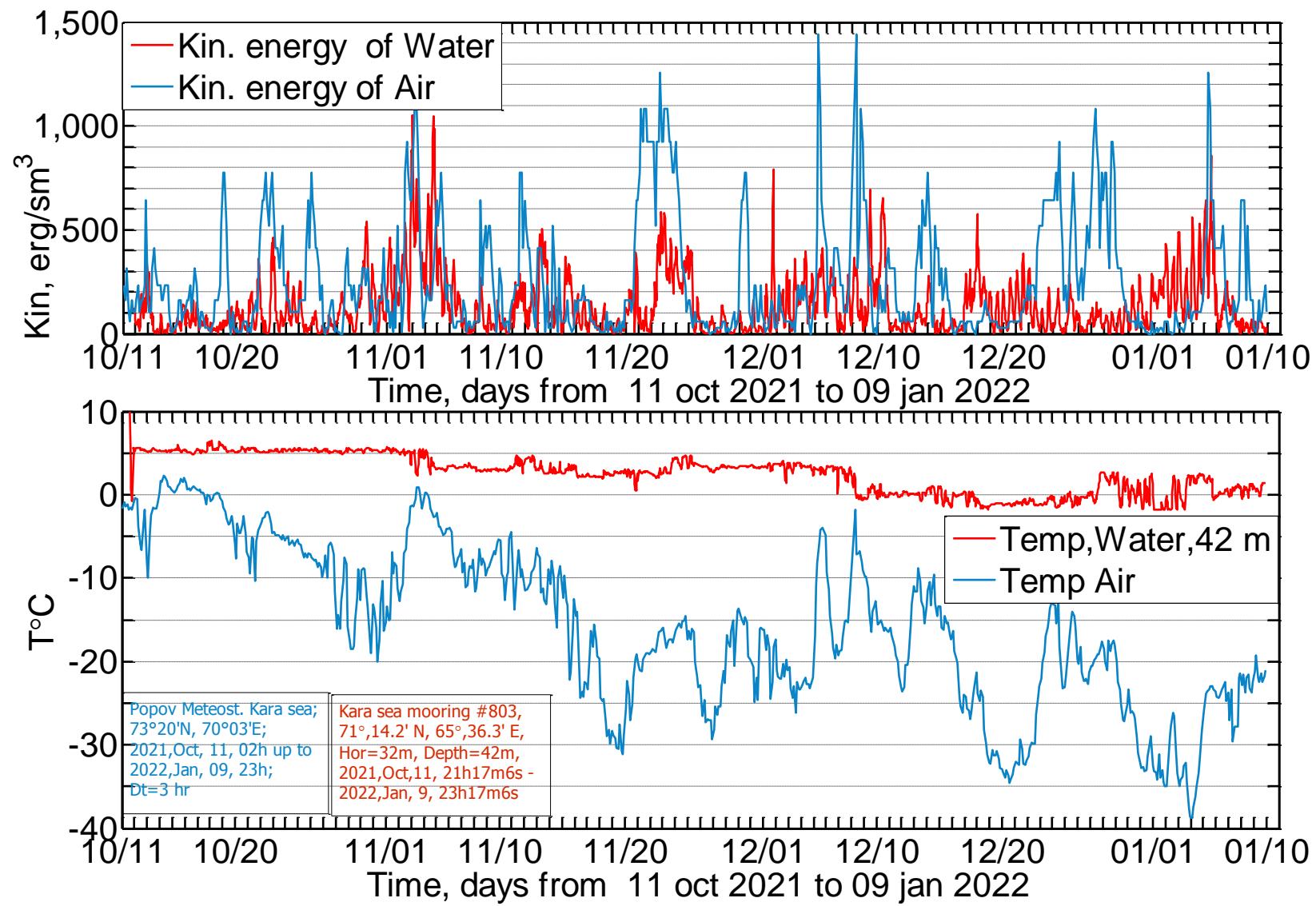
Точка расчета прогноза погоды на Мысе Харасавэй:

71° 06' с.ш., 66° 46' в.д.; 18 м

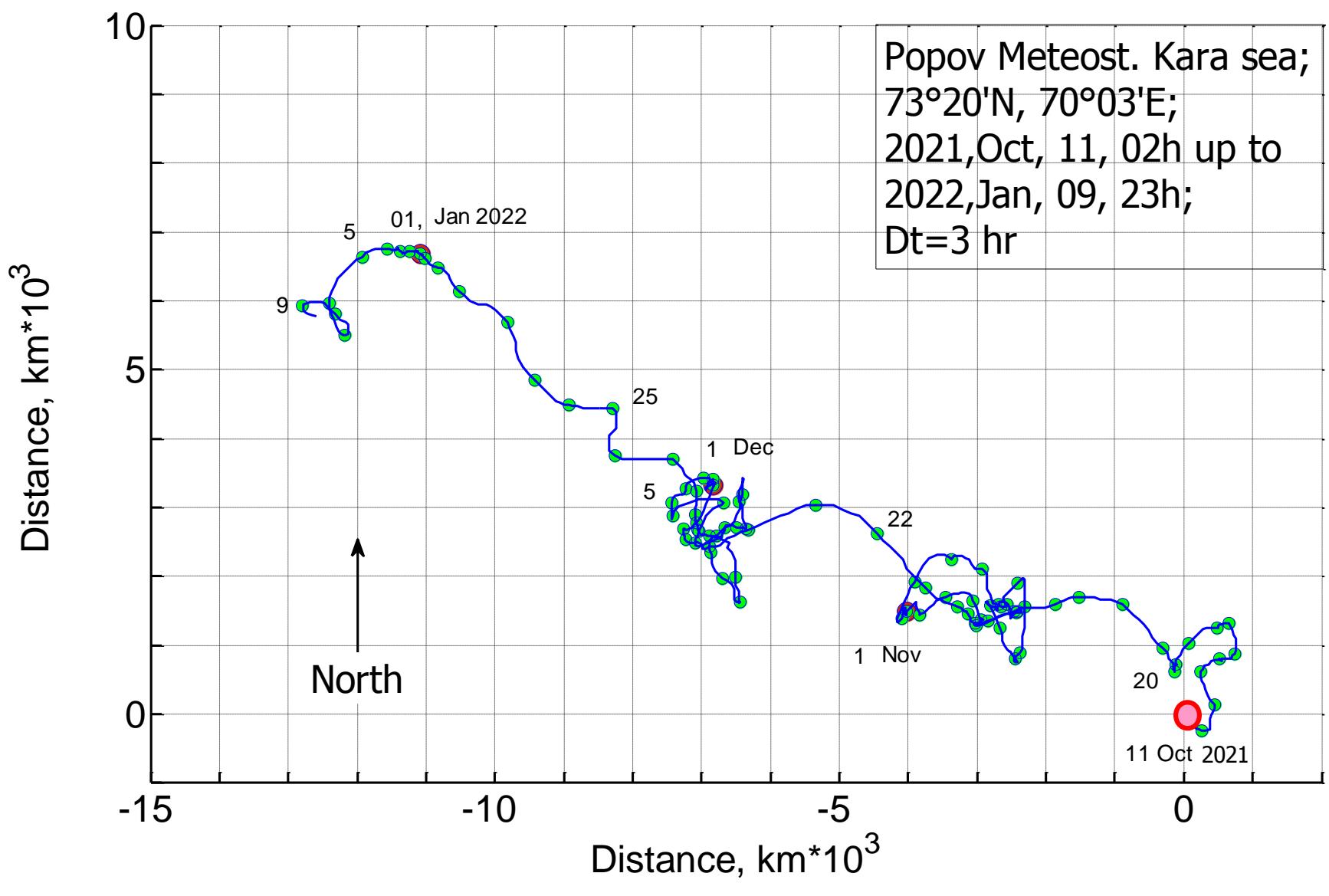
Сайт: rp5.ru



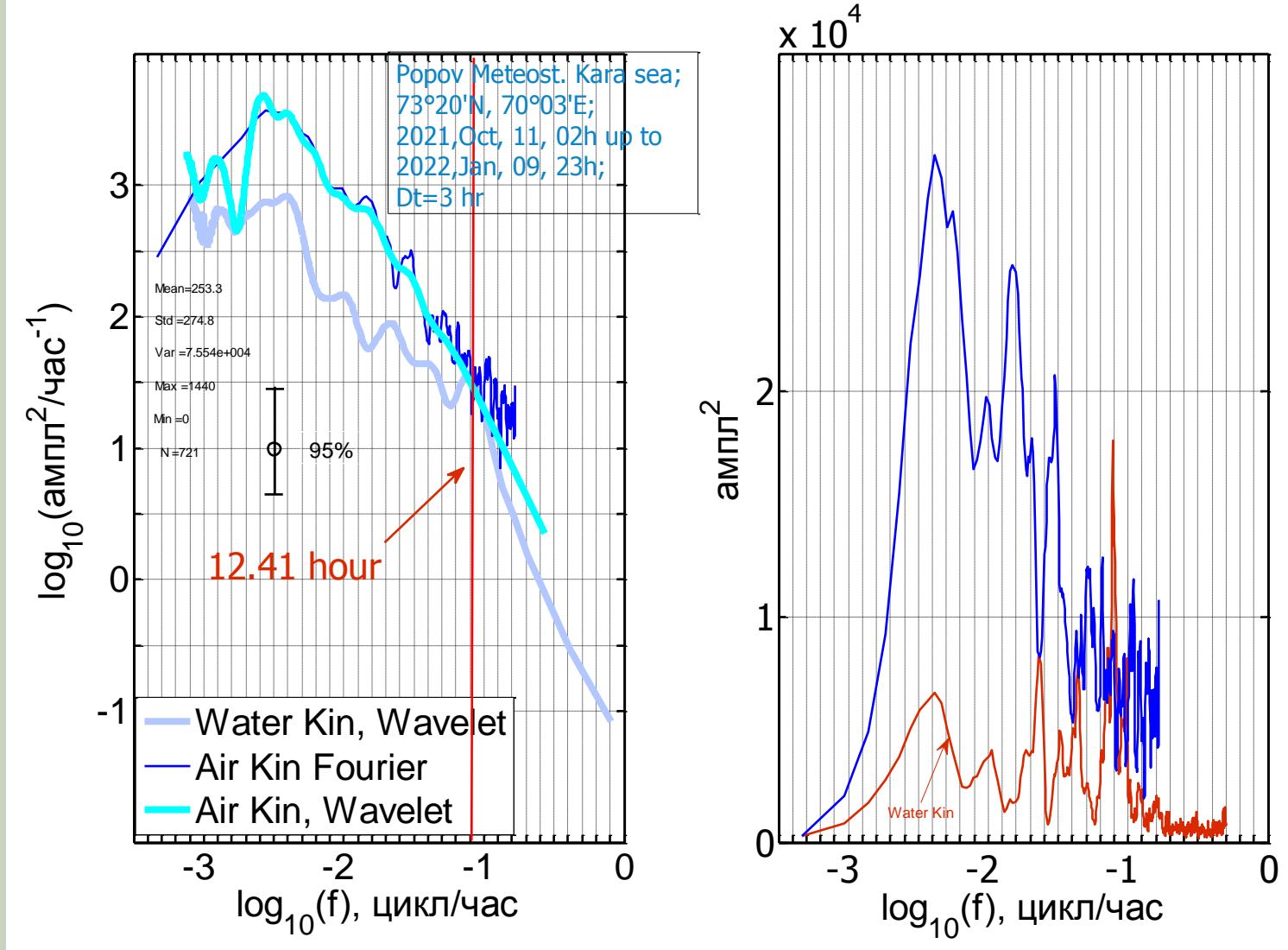
Декартовы компоненты горизонтальной скорости U, V ветров и модуль скорости ветра на метеостанции им. М.В.Попова ($73^{\circ} 20'$ с.ш., $70^{\circ} 03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Светлые кривые- соответственные величины по измерениям в воде на глубине 32 м. Время: с 2021 окт, 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 час.



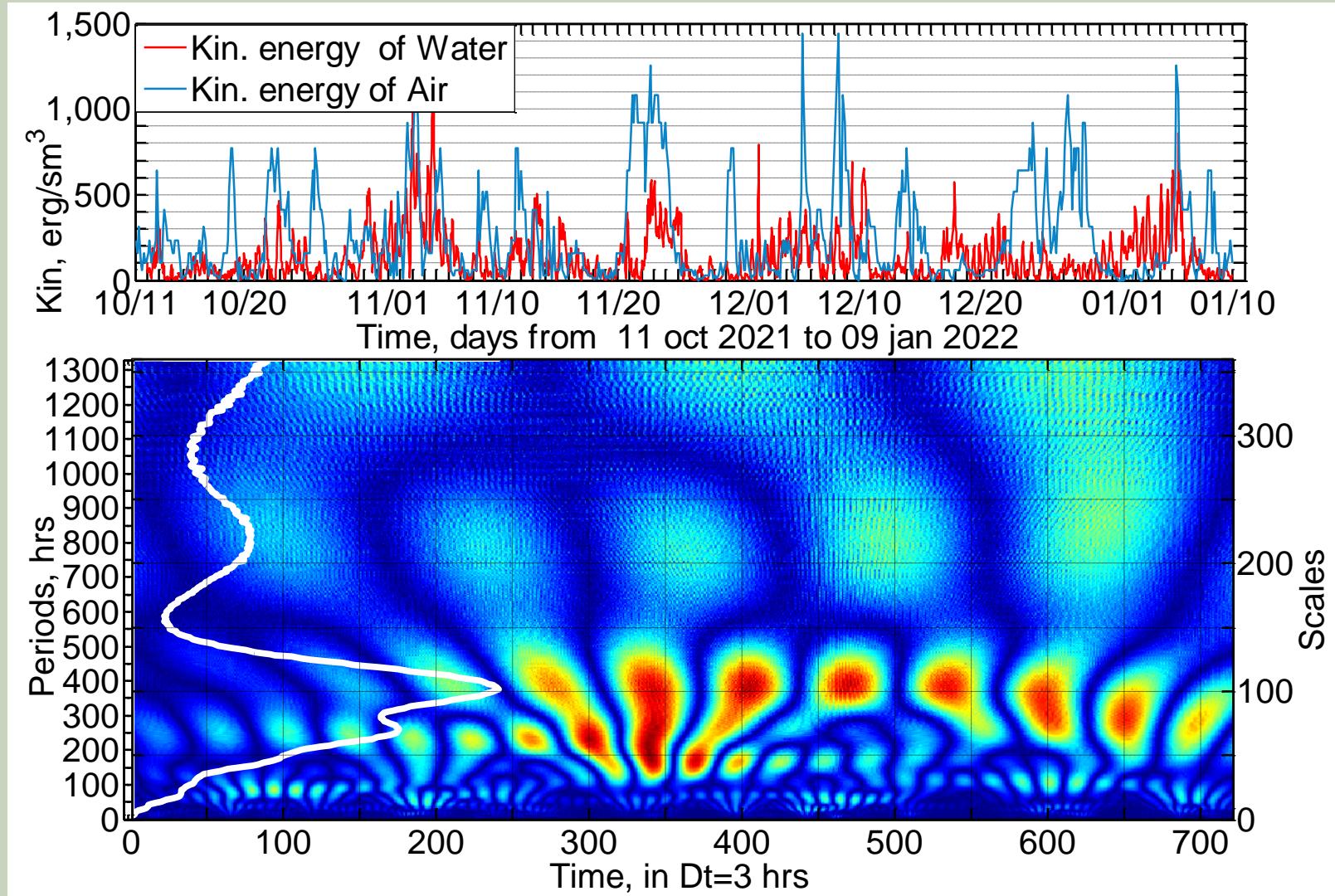
Плотность кинетической энергии воздуха $\text{Kin} = 0.5\rho (U^2 + V^2)$ ($\rho = 1.275 \text{ кг/м}^3$) и температура воды на метеостанции им. М.В. Попова ($73^\circ 20'$ с.ш., $70^\circ 03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Наблюдения на буе обозначены красным цветом. Время: с 2021 окт, 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 через 3 час.



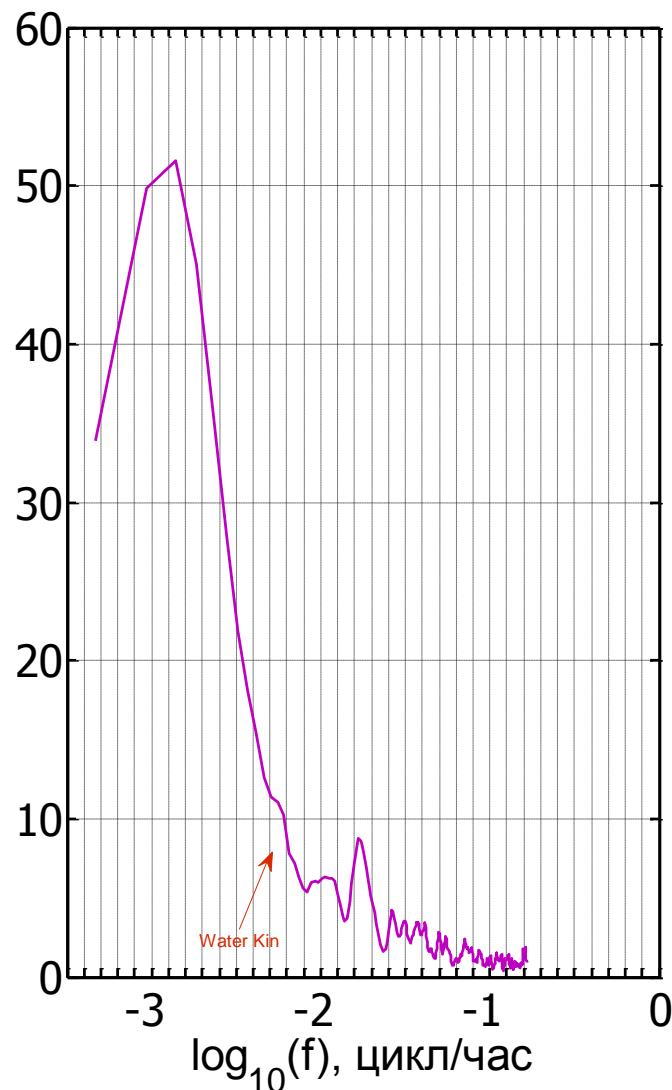
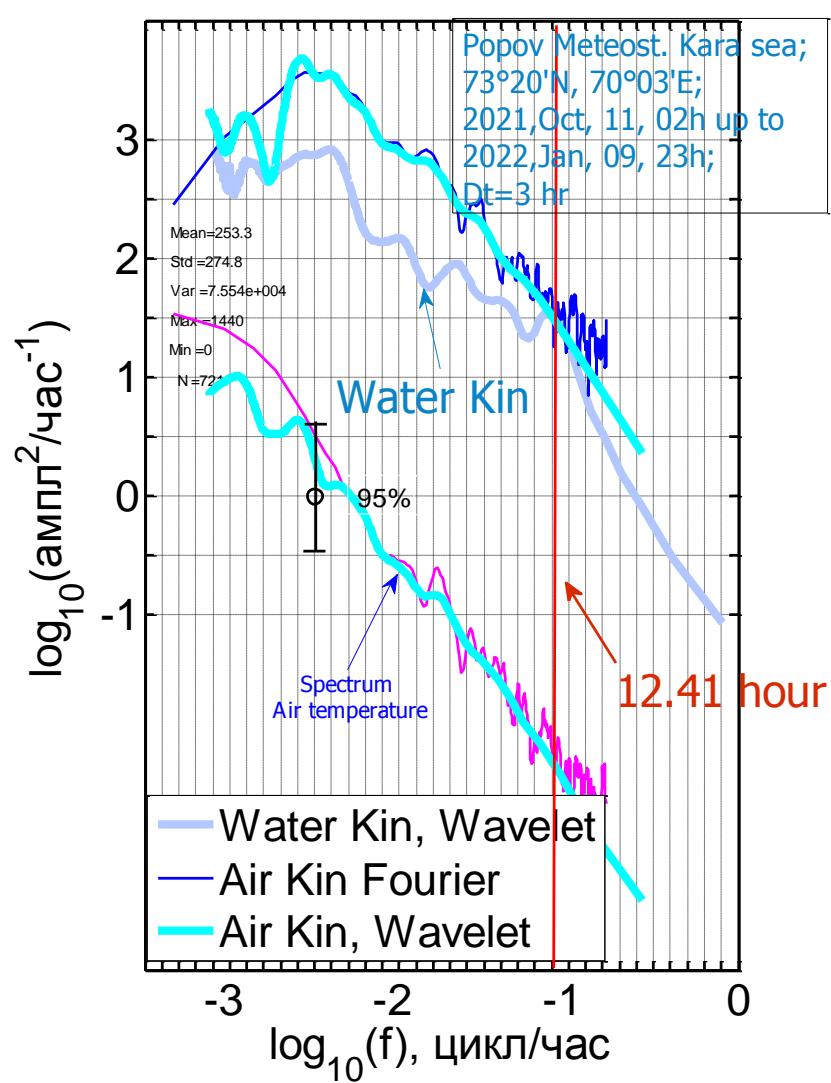
Прогрессивная векторная диаграмма скорости ветра на метеостанции им. М.В. Попова ($73^{\circ}20'$ с.ш., $70^{\circ}03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Время: с 2021 окт., 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23 час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 час.



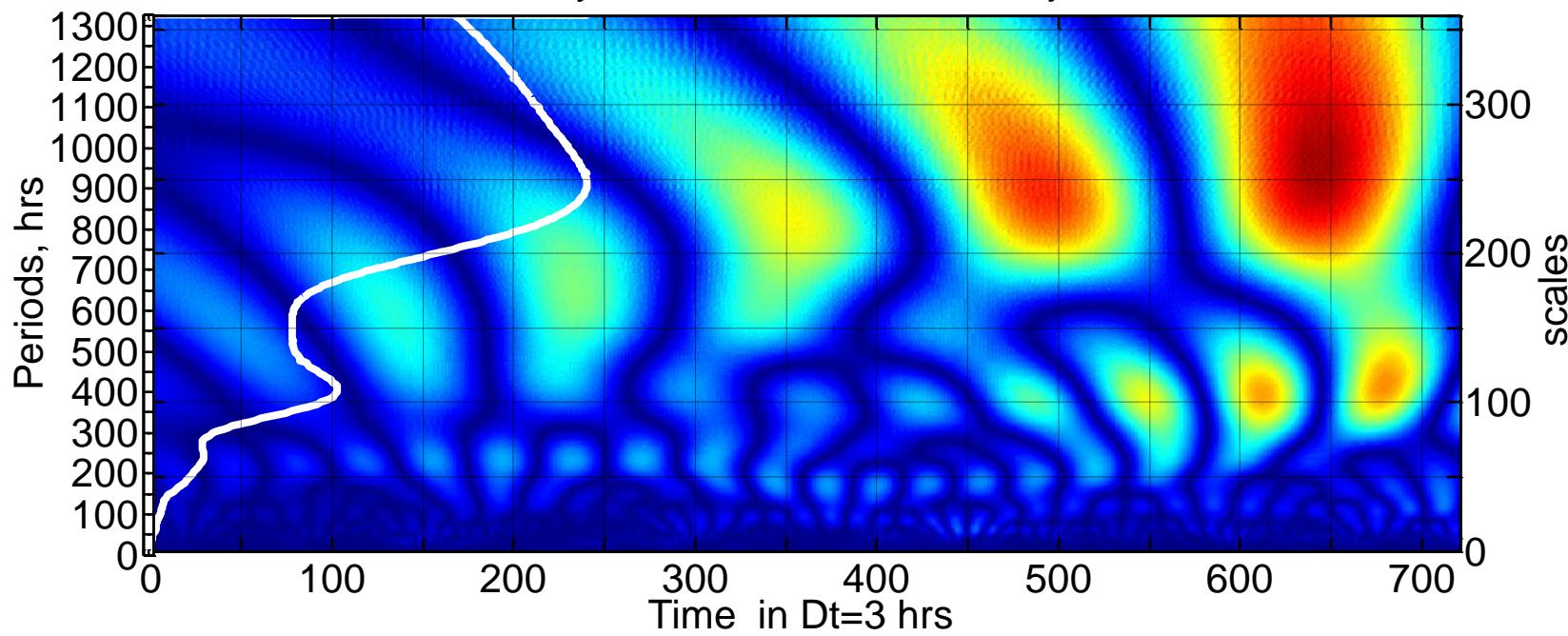
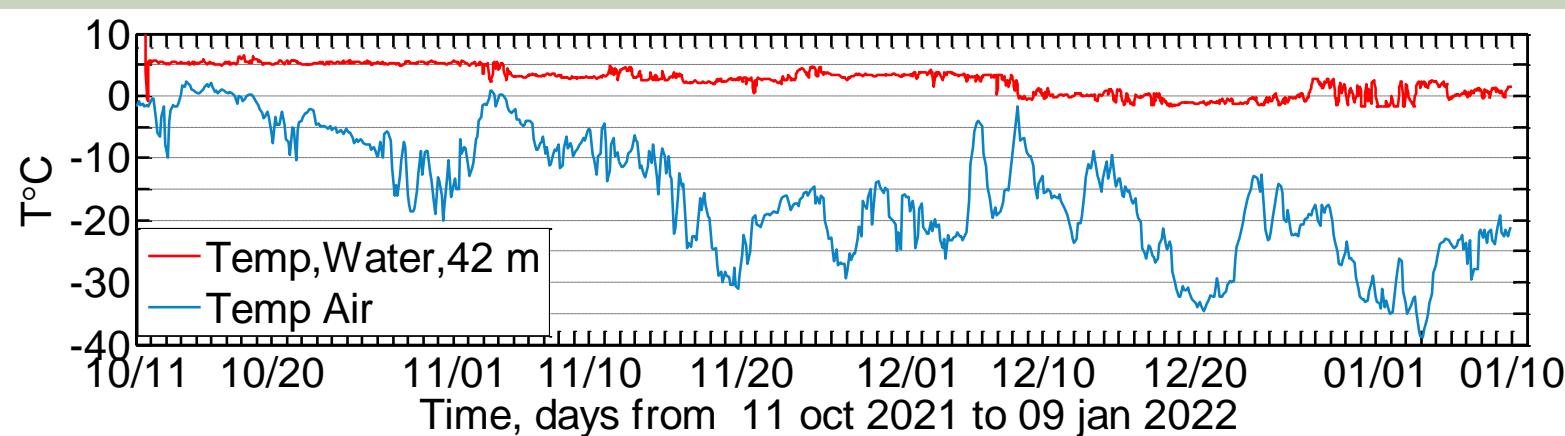
Спектральные плотности Фурье Кин. энергии - панель слева; спектр дисперсии Кин. энергии (справа) на метеостанции им. М.В. Попова ($73^{\circ} 20'$ с.ш., $70^{\circ} 03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Светлая зелёная кривая - спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени. Можно сравнить с кин энергией воды на буе. Время: с 2021 окт., 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23 час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 час.



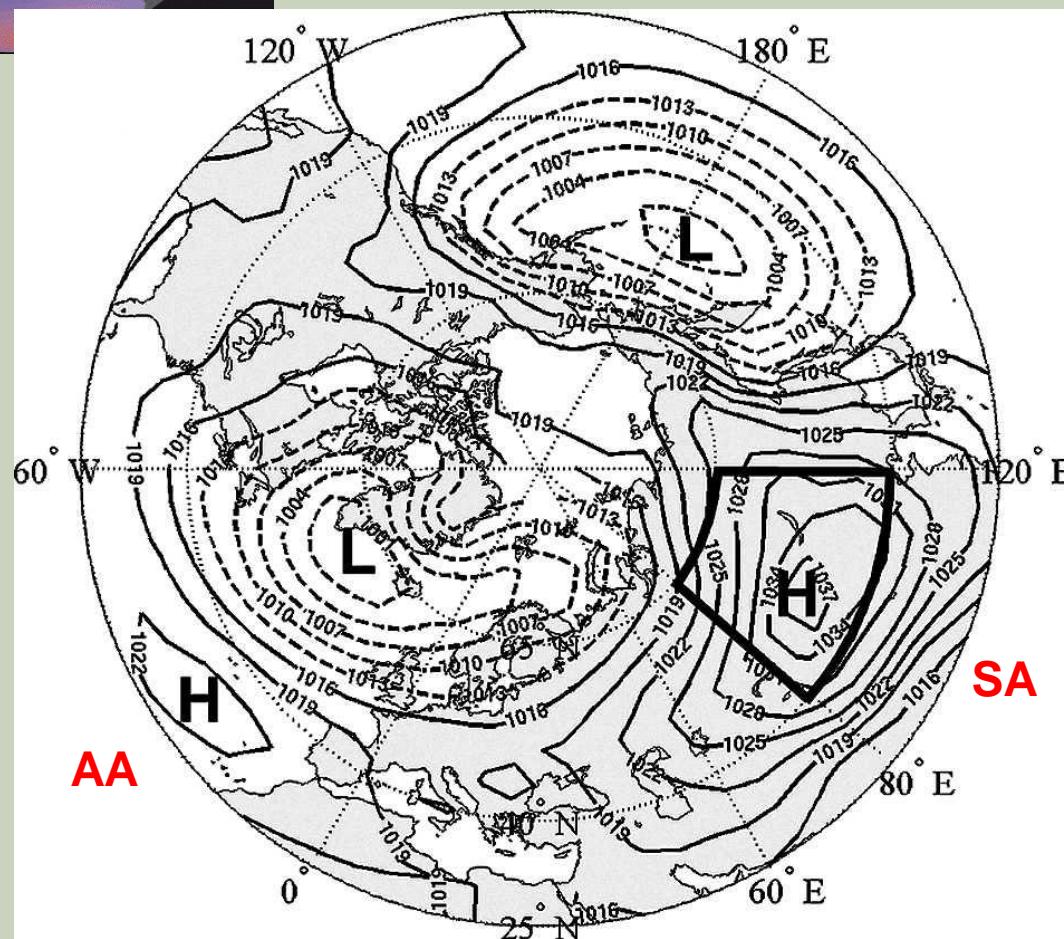
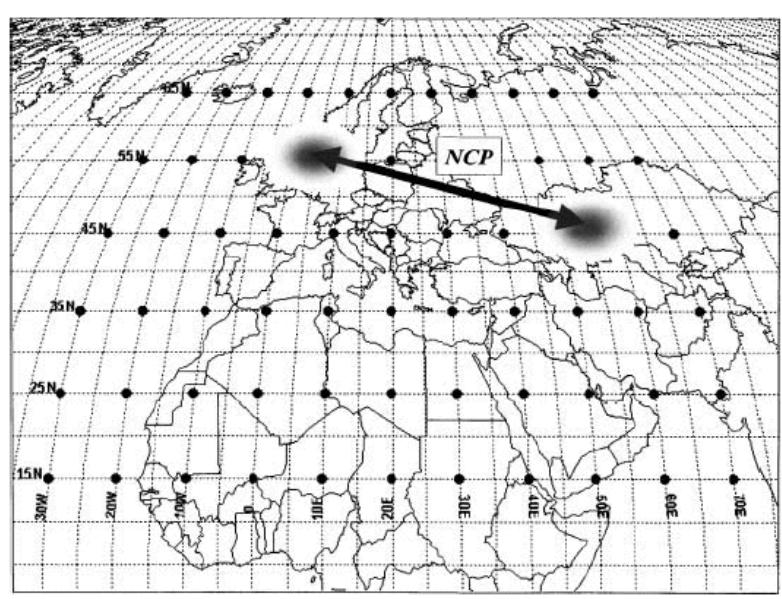
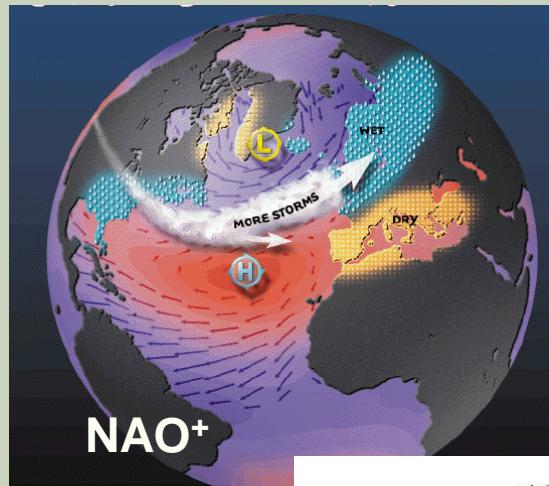
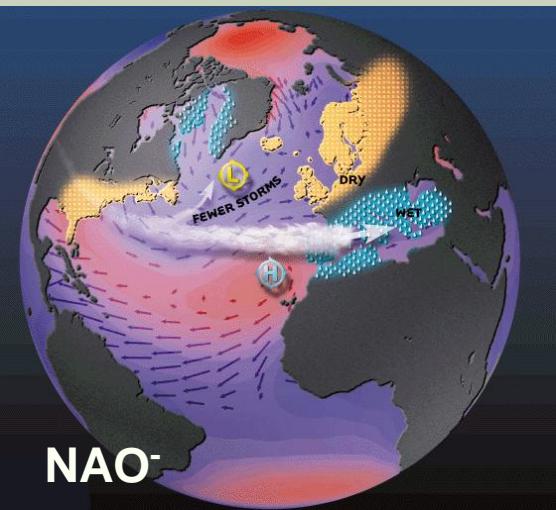
Ход плотности кинетической энергии воздуха $\text{Kin} = 0.5\rho (U^2 + V^2)$ ($\rho = 1.275 \text{ кг/м}^3$) (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 1-1300 час. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Метеостанция им. М.В. Попова ($73^\circ 20'$ с.ш., $70^\circ 03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Наблюдения начались 11.10.2021, 02 час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 часа.

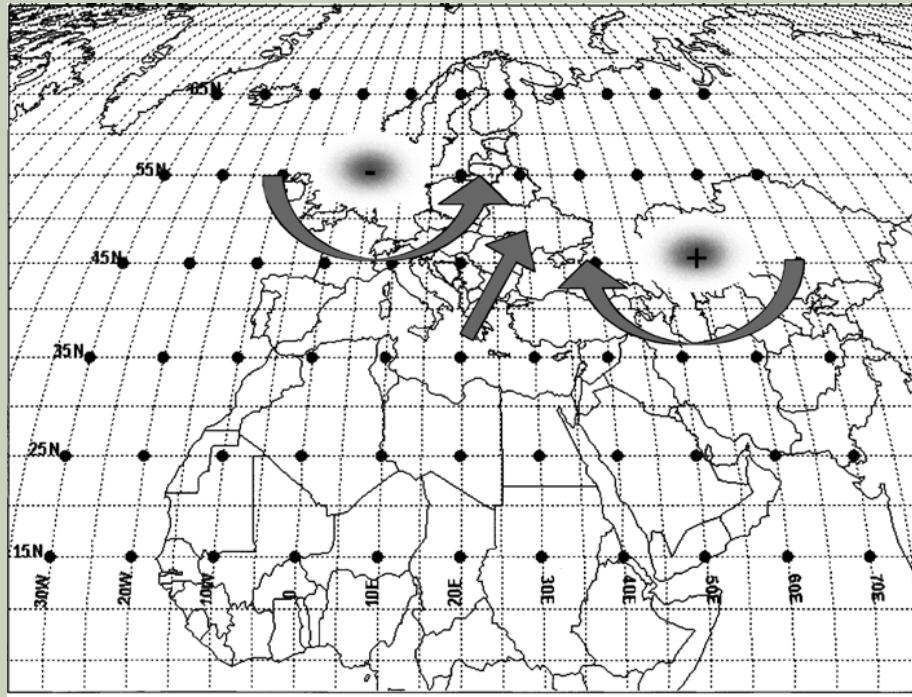


Спектральные плотности Фурье температуры воздуха - панель слева; спектр дисперсии температуры воздуха (справа) на метеостанции им. М.В. Попова ($73^{\circ} 20'$ с.ш., $70^{\circ} 03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Светлая зелёная кривая - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Можно сравнить с кин энергией воды на буе. Время: с 2021 окт., 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23 час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 час.

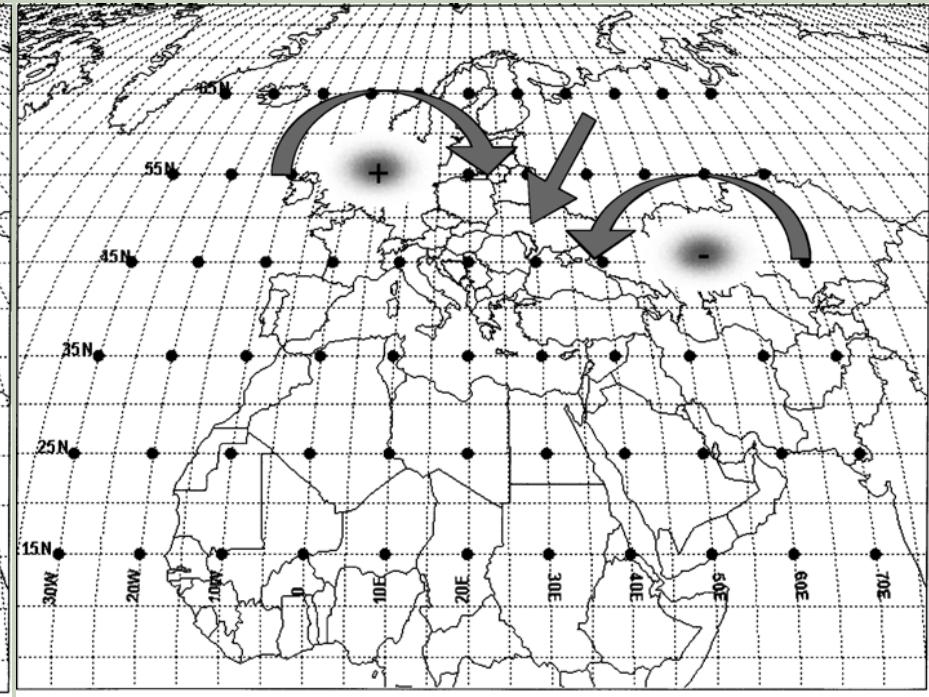


Ход температуры воздуха (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 1-1300 час. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени. Метеостанция им. М.В. Попова ($73^{\circ} 20'$ с.ш., $70^{\circ} 03'$ в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Наблюдения на буе обозначены красным цветом. Время: с 2021 окт, 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23час. Продолж. измерений 2163 часа, 721 значений через 3 час.





NCP-

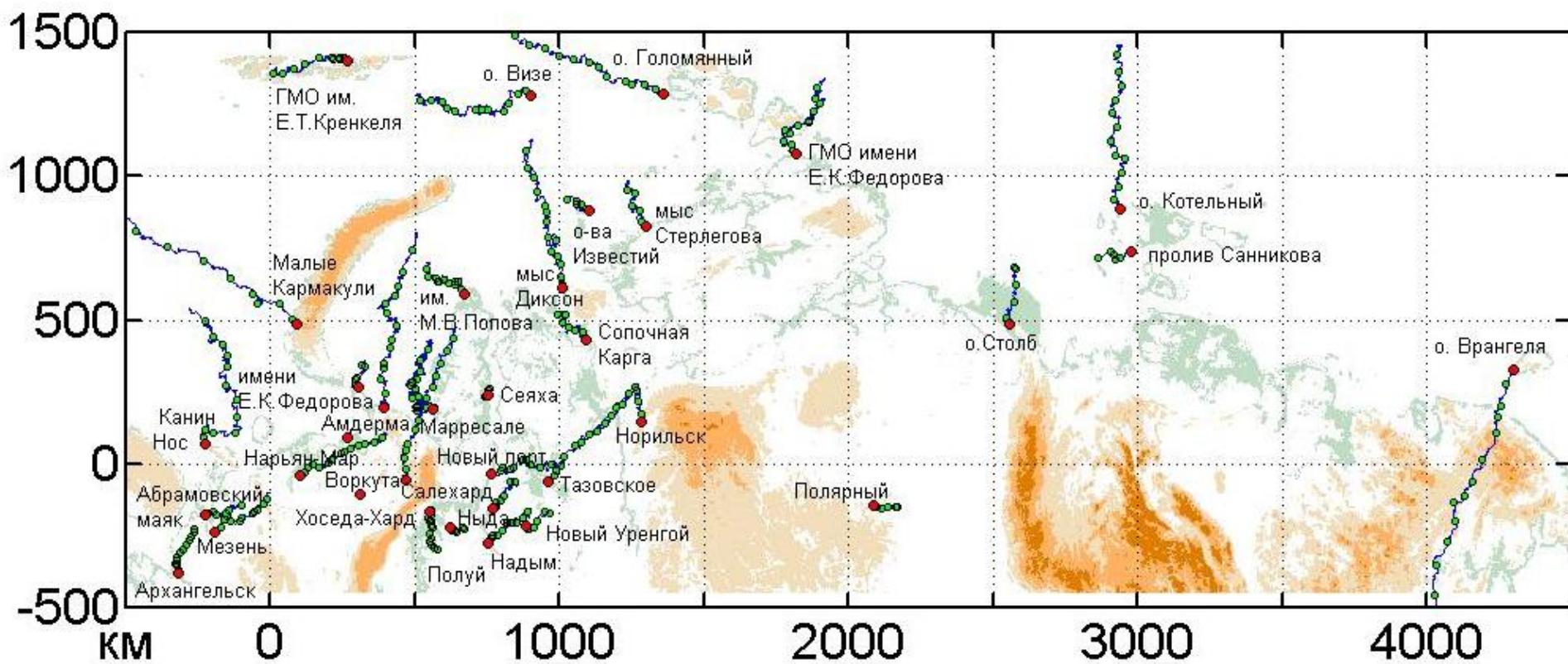


NCP+

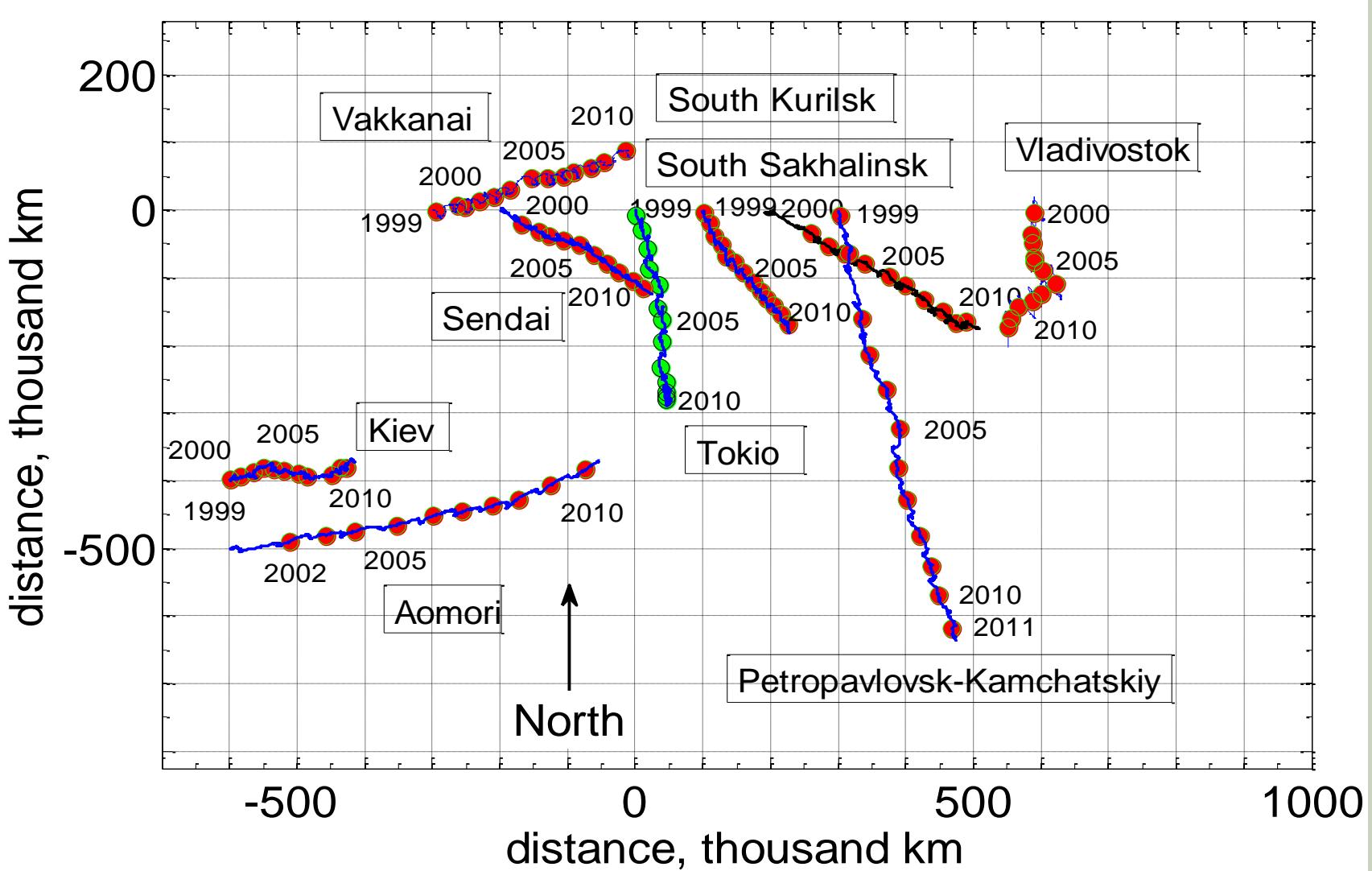
Схематическое представление аномалии циркуляции при NCP(-) и NCP(+).

From:

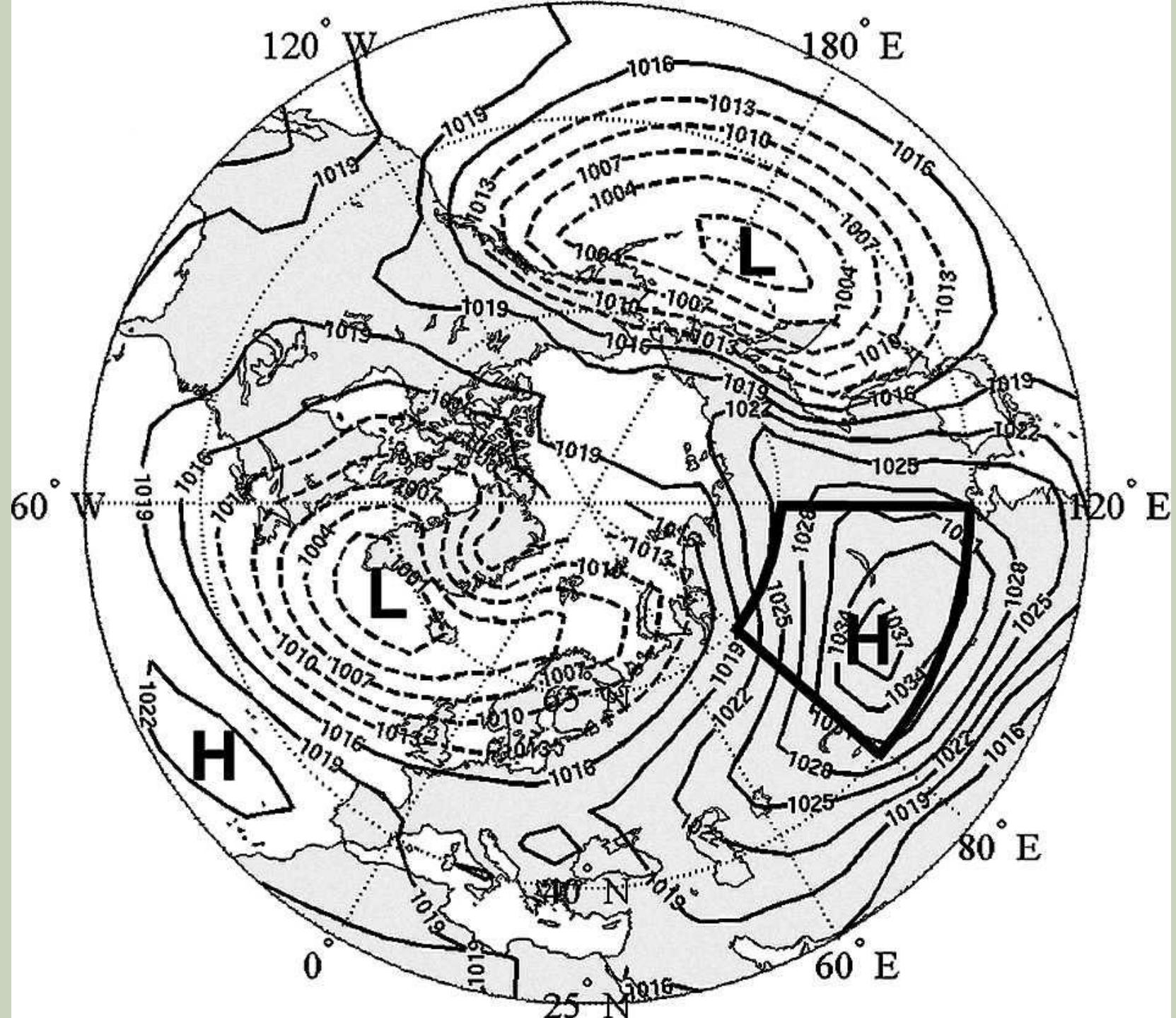
Kutiel, H., Benaroch, Y., 2002. North Sea-Caspian Pattern (NCP) — an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: identification and definition. *Theor. Appl. Climatol.* v. 71, 17–28.



Сводная карта долговременных воздушных течений в русской Арктике до о.Врангель.



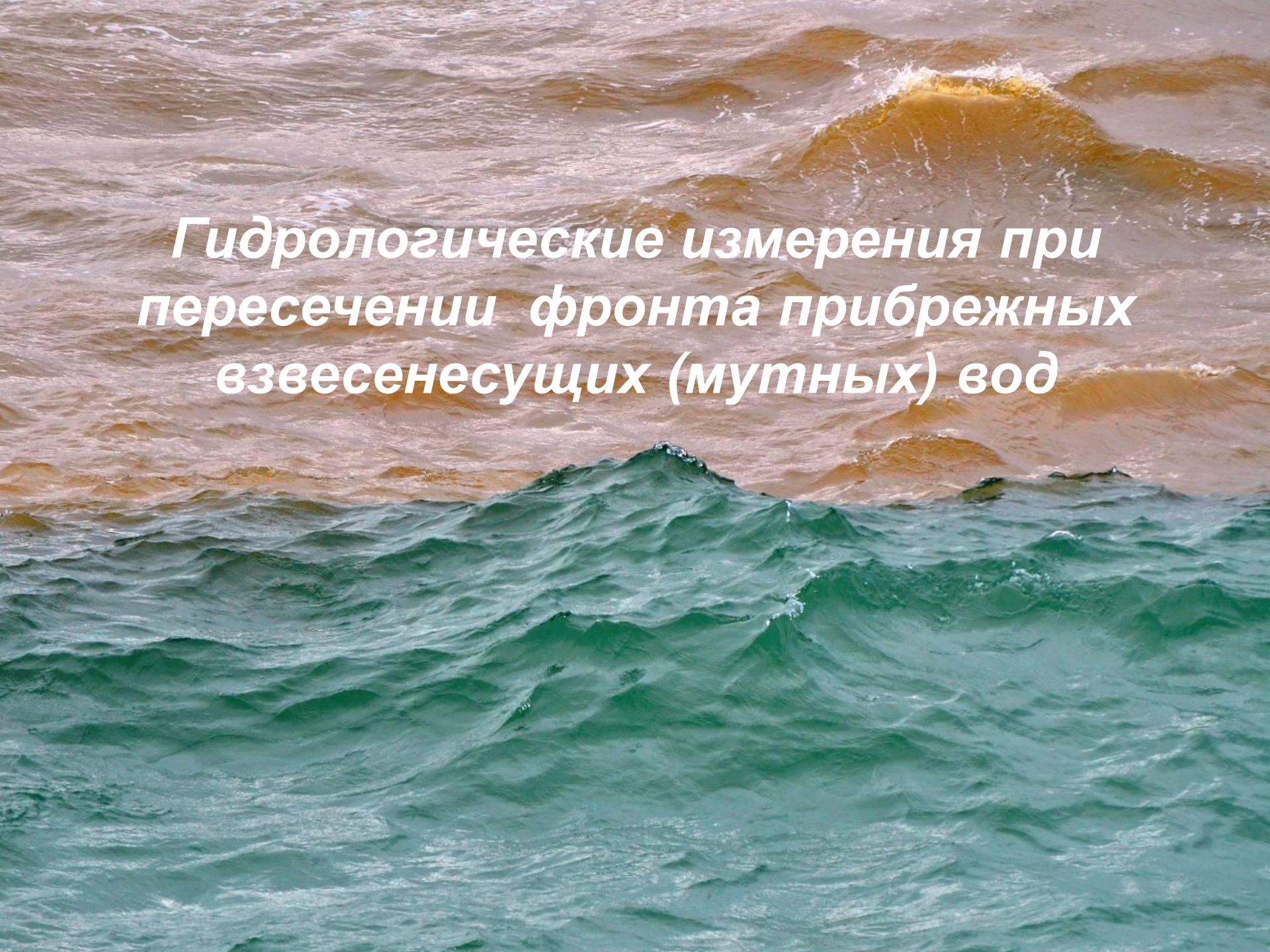
Mean (climatic) winds at various meteorological stations
in the Far east region in the period 2009-2011.



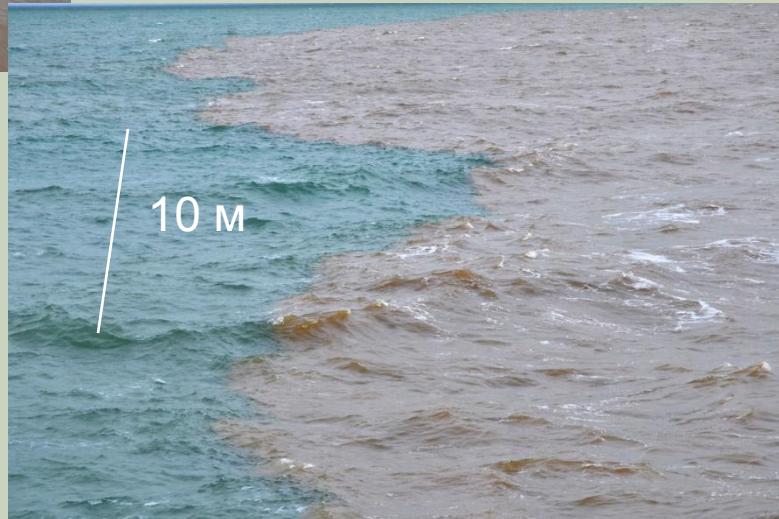
Конфигурация поля давления (на уровне моря) в зимний сезон (декабрь, январь, февраль), осредненного за период 1900-2001, с использование интерполированного на сетку массива, созданного Trenberth and Paolino (1980). Изобары нанесены через каждые 3 hPa. Сплошной линией показаны изобары большие или равные 1015 hPa, штриховые линии обозначают изобары с меньшими, чем это значение величинами давления. Жирной линией обозначена площадь, по которой было проведено осреднение при расчёте индекса Сибирского антициклона. (40° – 65° N, 80° – 120° E), [7].

From:

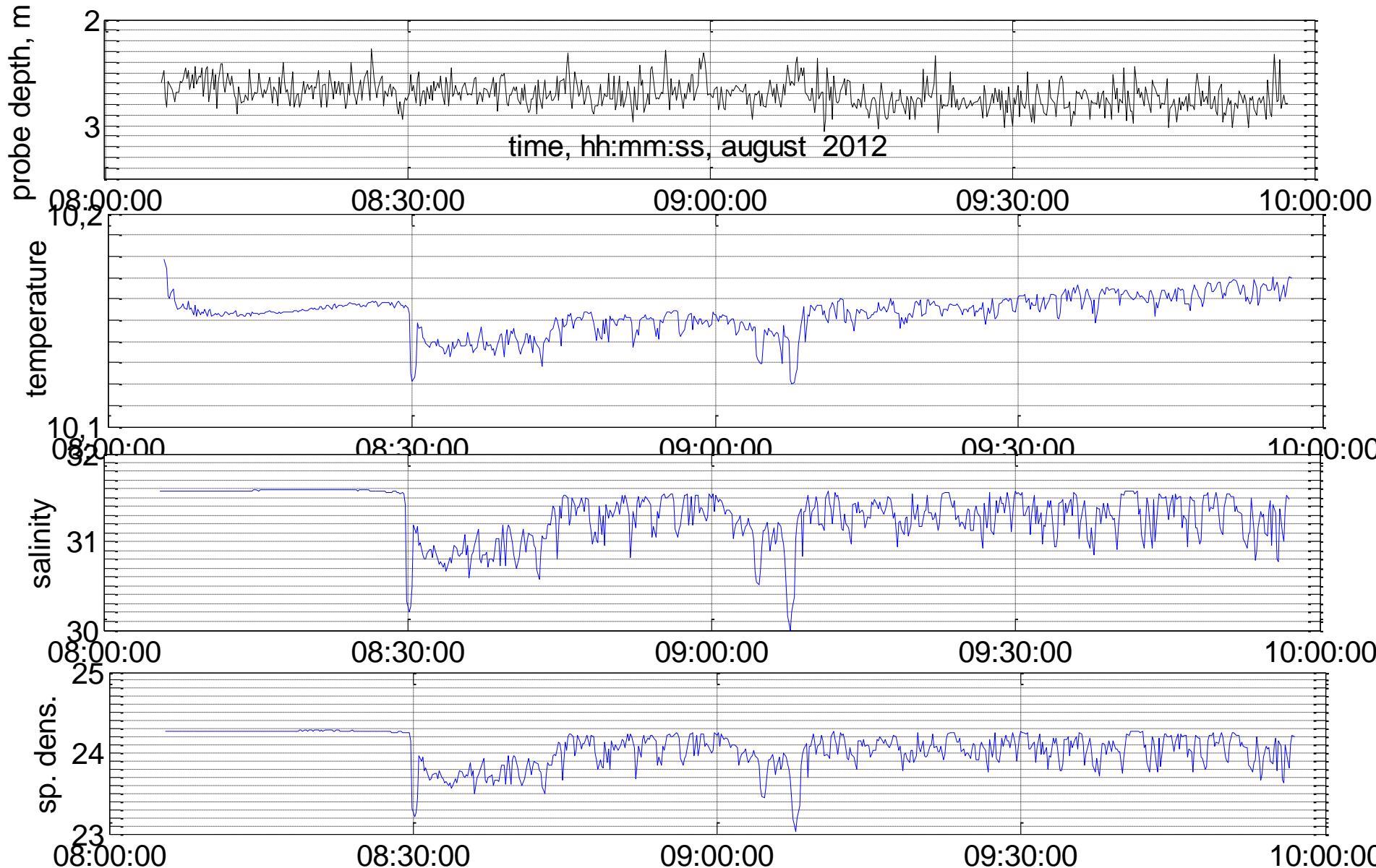
FOTIS PANAGIOTOULOS AND MARIA SHAHGEDANOVA. **Observed Trends and Teleconnections of the Siberian High:A Recently Declining Center of Action.**
JOURNAL OF CLIMATE, VOLUME 18, MAY, 2005, pp. 1411- 1422.



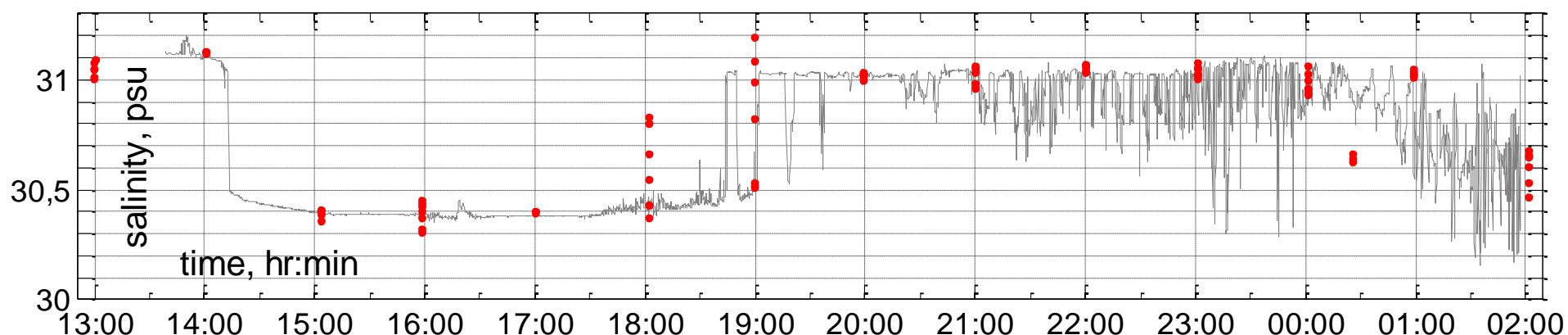
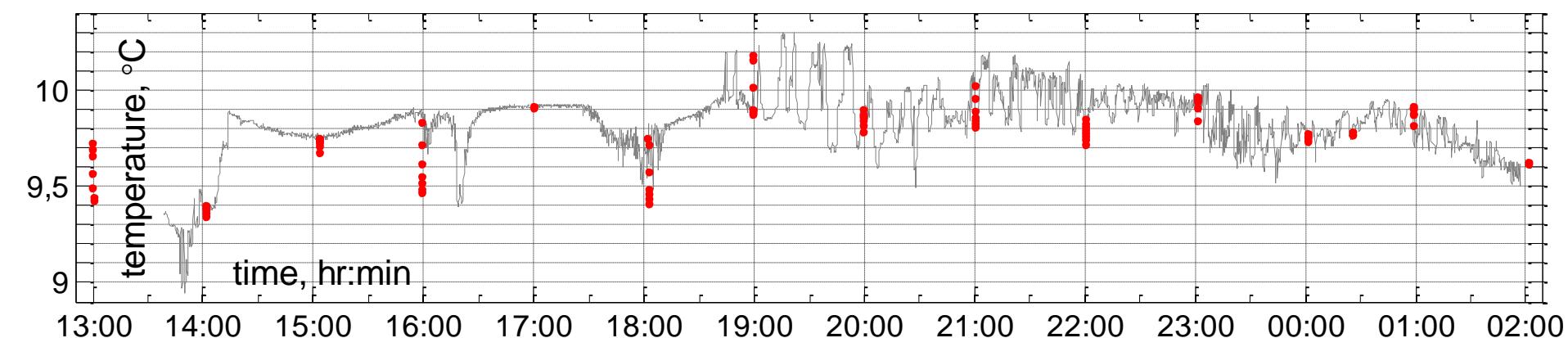
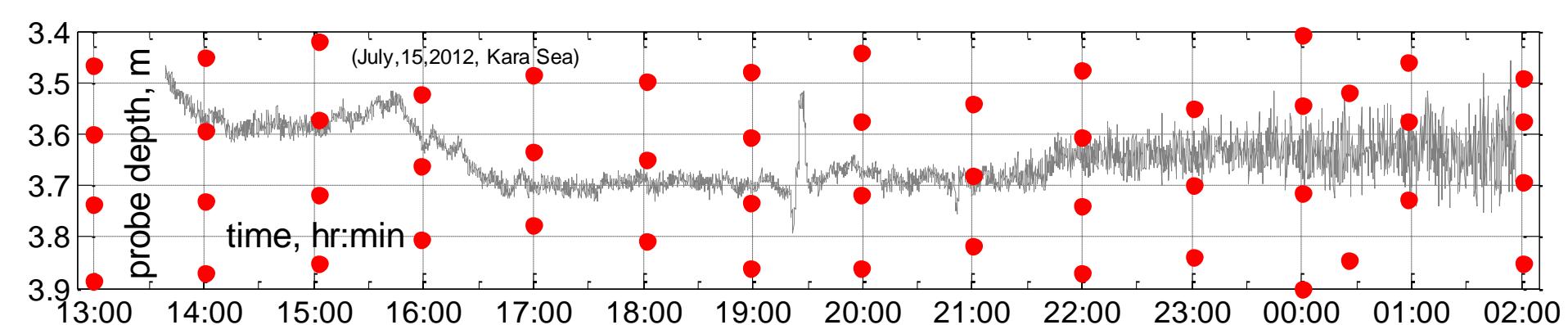
*Гидрологические измерения при
пересечении фронта прибрежных
взвесенесущих (мутных) вод*

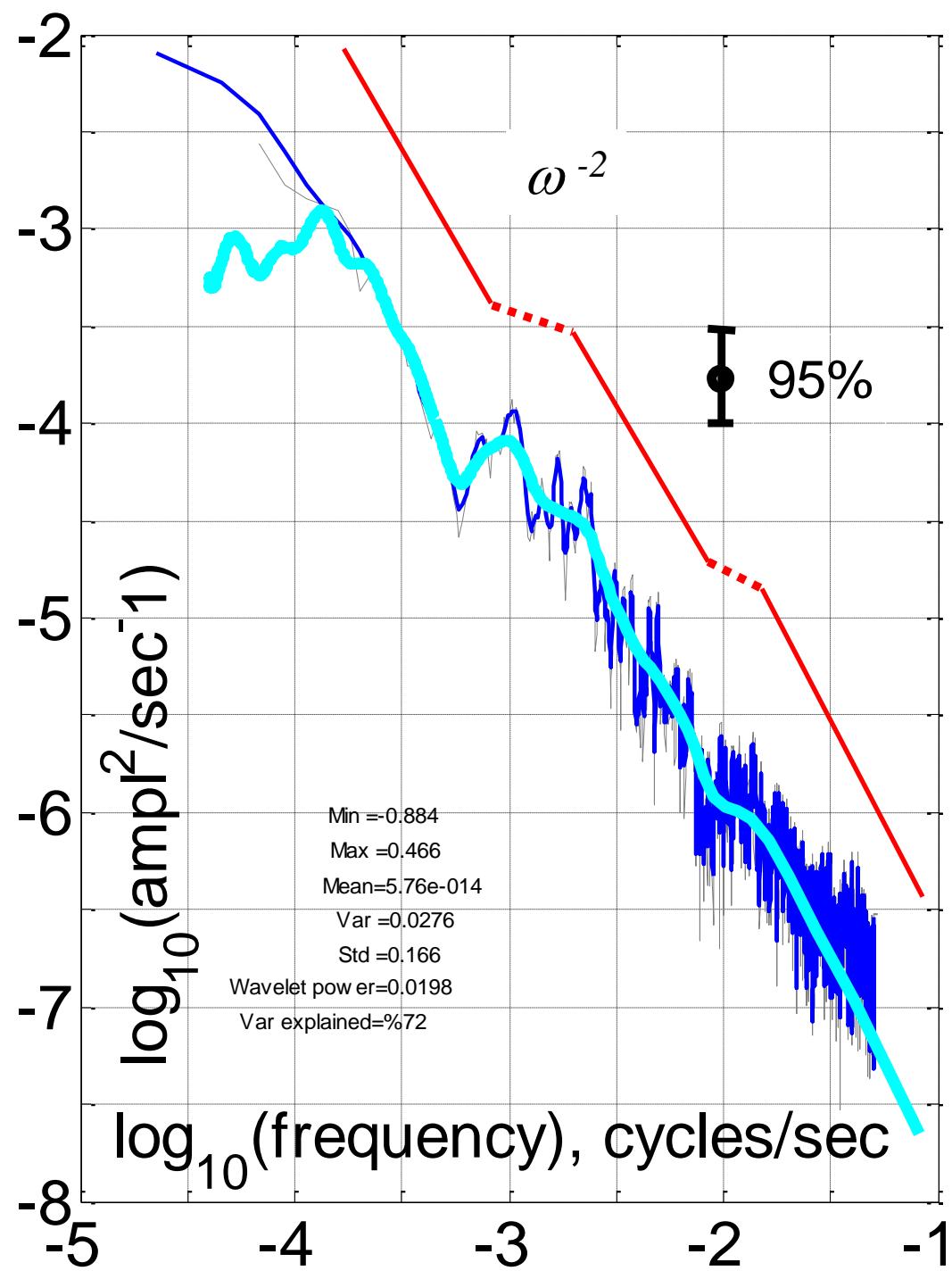


Структура фронта прибрежных взвесенесущих вод на разных пространственных масштабах.
По наблюдениям с борта нис “Иван Петров”
на якорной стоянке на траверзе п. Харасавэй,
13 авг. 2012 г., 08.20 мин. Фото. Н.А.Тихоновой.

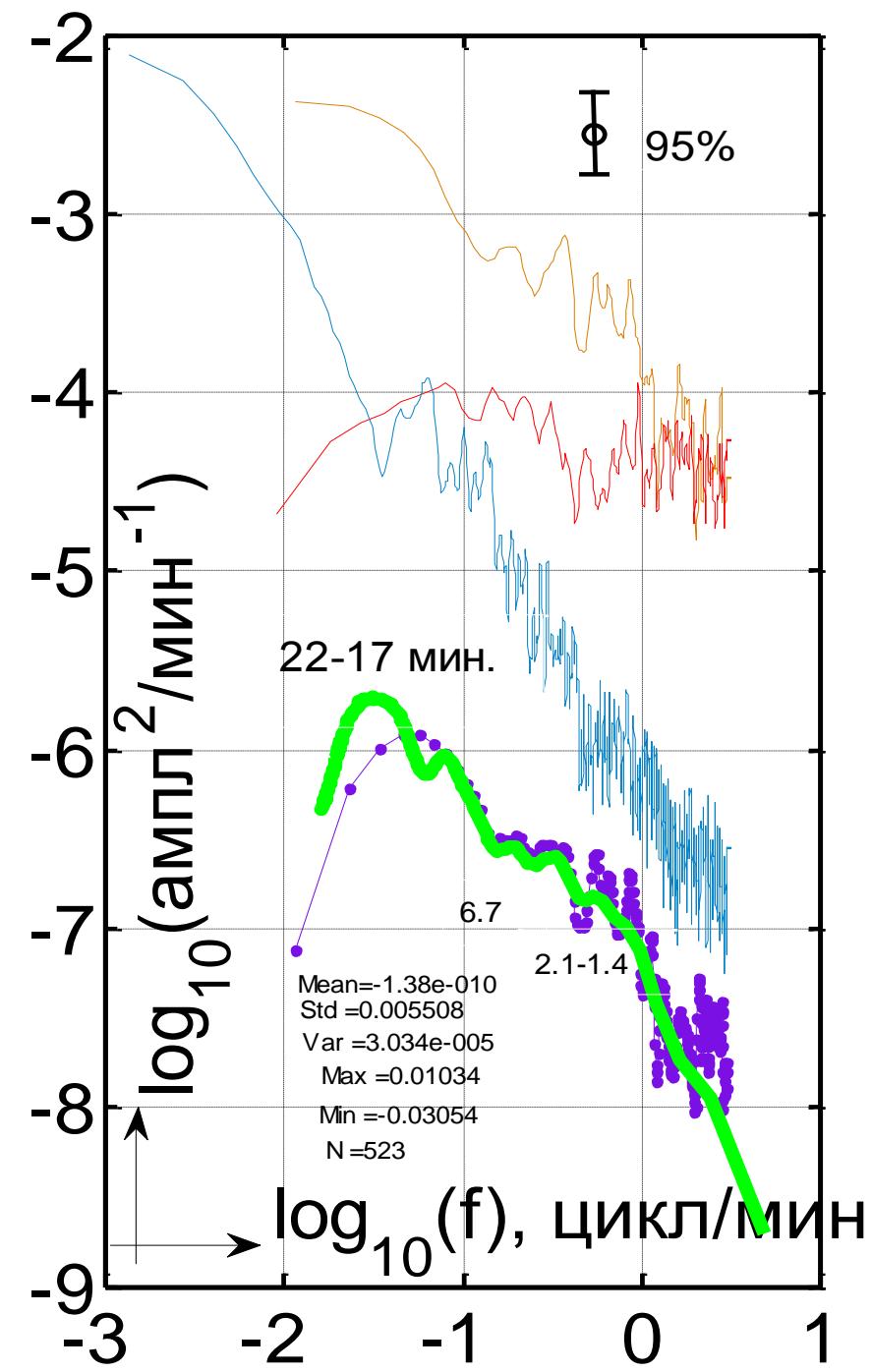


Вариации СТД параметров при прохождении фронта прибрежных взвесенесущих (мутных) вод.

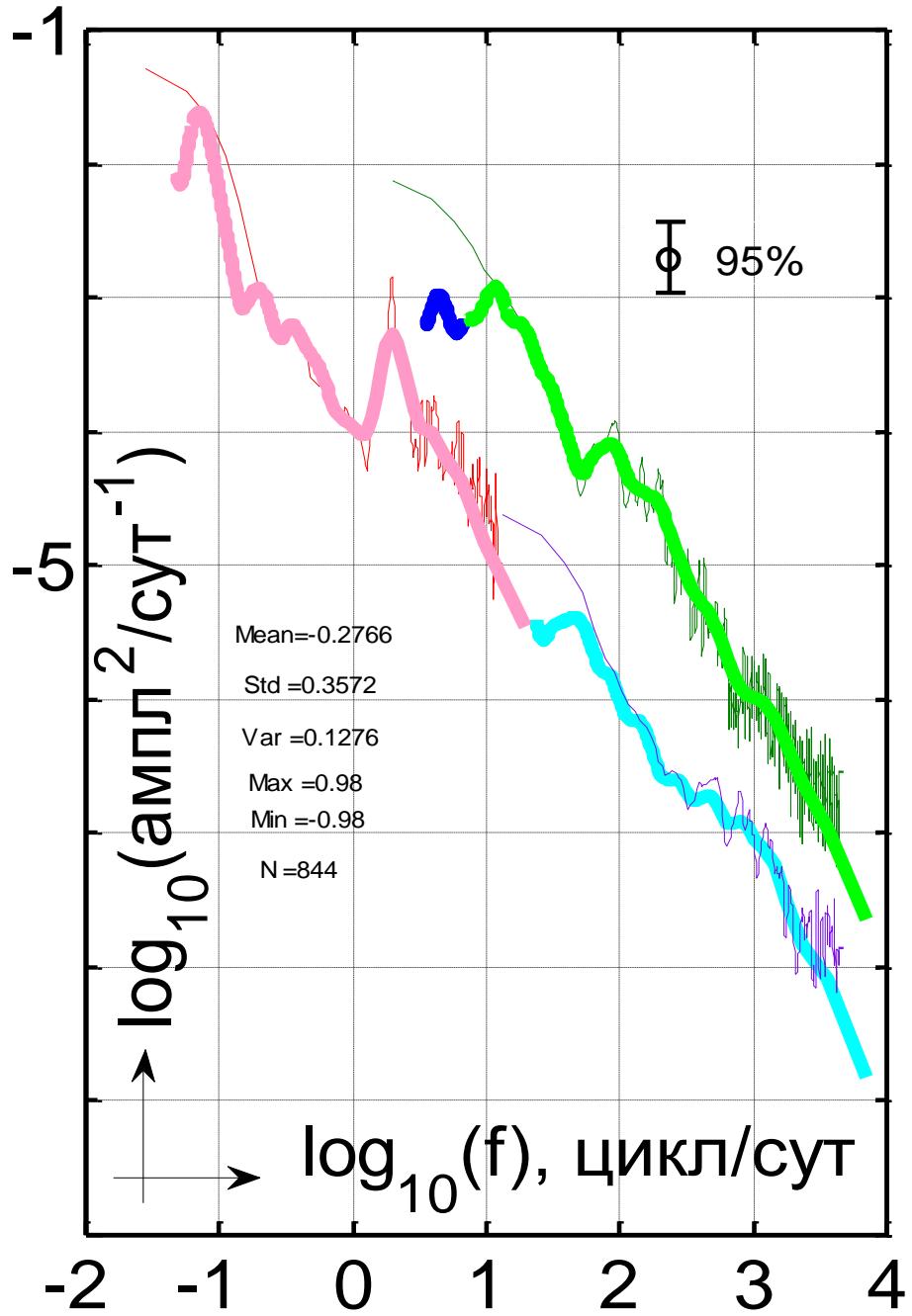




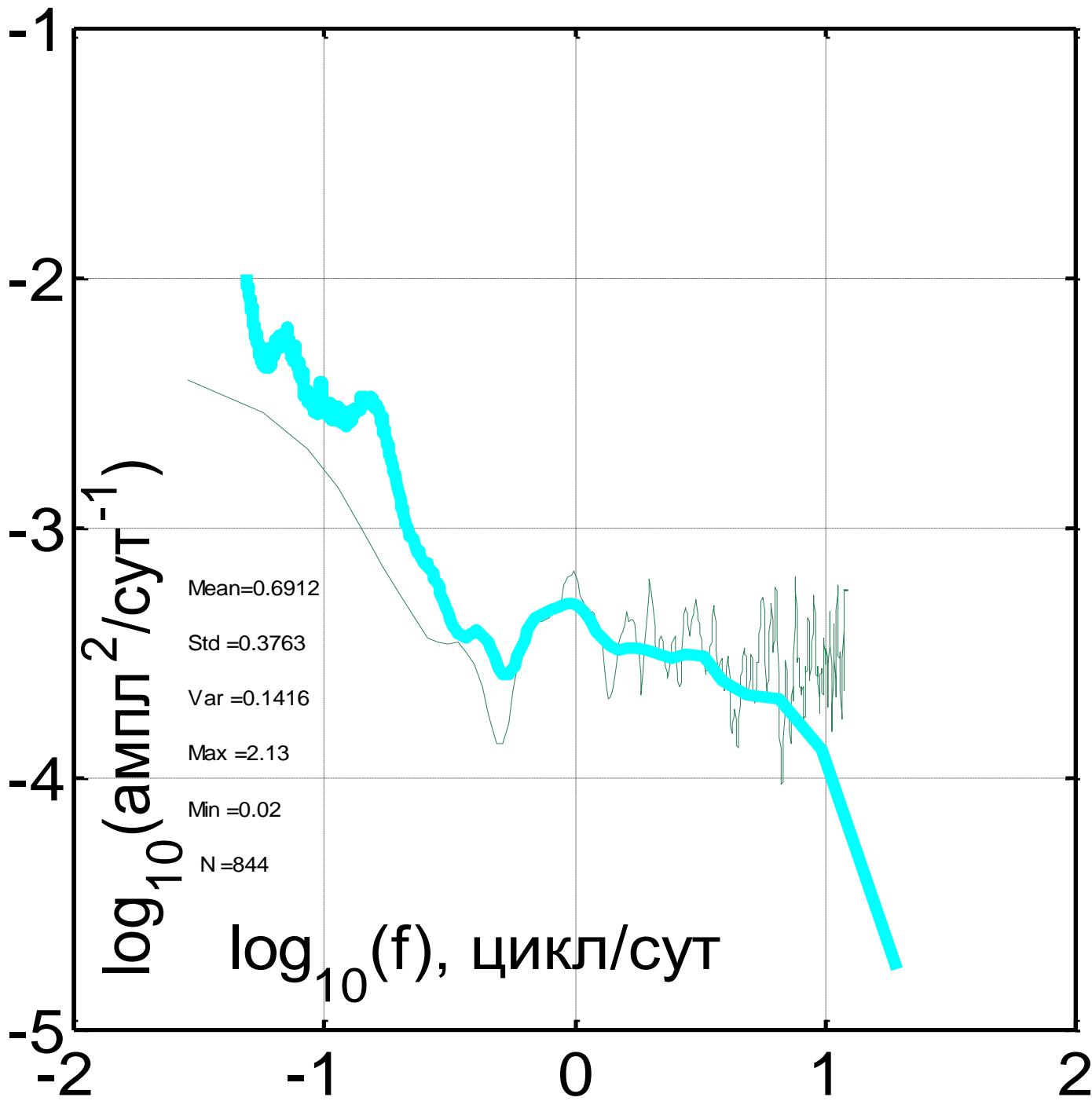
Сравнение Фурье и вейвлет-спектров изменений температуры на станции в Карском море.

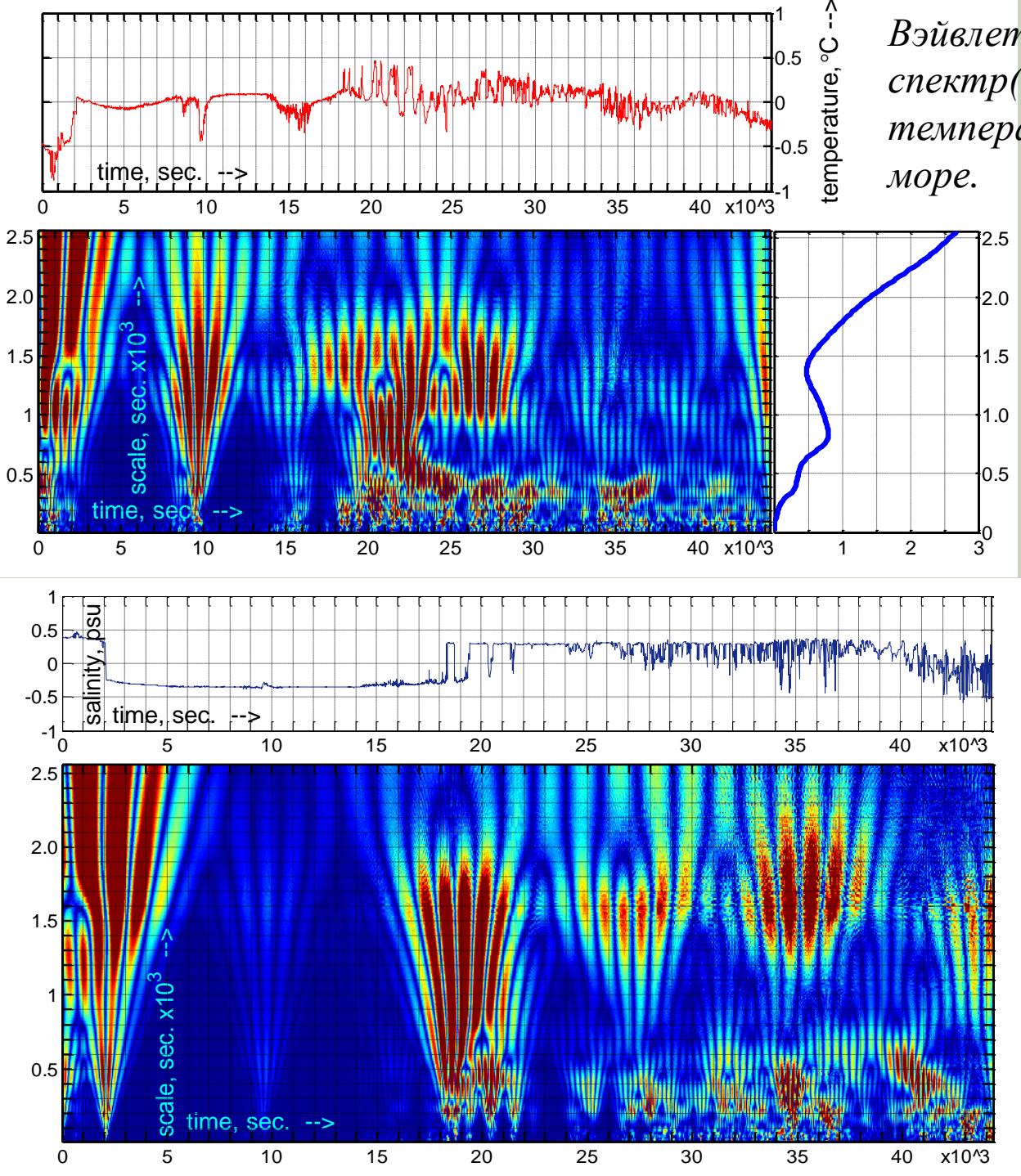


Спектры гидрологических характеристик при пересечении фронта взвесенесущих вод вблизи п. Харасавей .



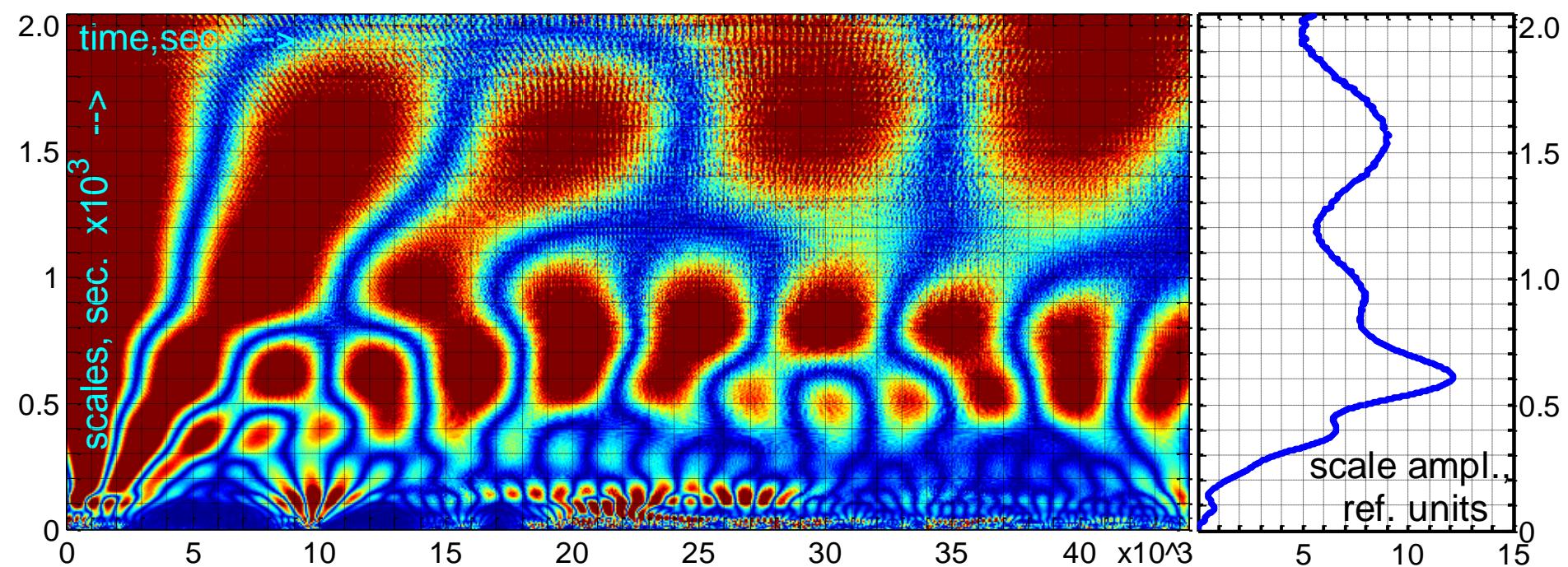
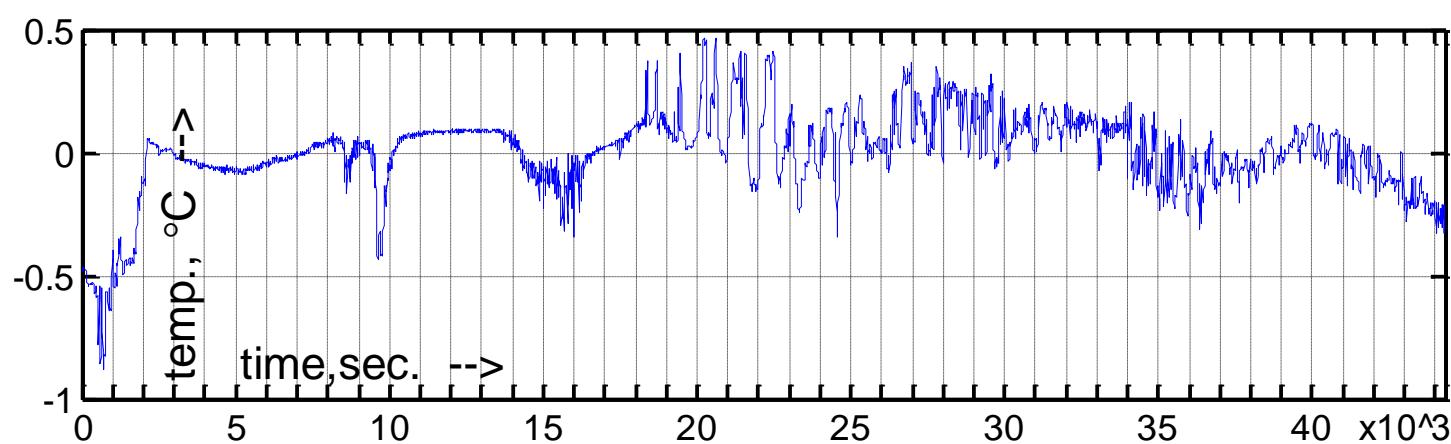
Сводный спектр колебаний температуры по измерениям в Карском море.





Вэйвлет-диаграмма и спектр(панель справа) изменений температуры на станции в Карском море.

Вэйвлет-диаграмма изменений солёности станции в Карском море.



Вэйвлет-диаграмма и вэйвлет-спектр(панель справа) изменений температуры на станции в Карском море.

Как видно из рис., отмечаются кардинальные динамические отличия прибрежных (мутных) и мористых (относительно прозрачных) вод. Предварительный анализ показывает, что прибрежные воды могут быть турбулизированы в результате стока рек и приливных течений в мелководных прибрежных областях. Оценка интенсивности и пространственно-временных масштабов флюктуаций параметров в указанных процессах может быть существенна для модельных расчётов динамики вод и осадконакопления.

1. Инструментальные измерения течений в Карском море имеют тройное значение:: во-первых, позволяют прояснить локальные гидродинамические процессы ; во-вторых, могут быть использованы для калибровки и тестирования данных различных реанализов; в-третьих, могут быть использованы для асимиляции в региональных моделях циркуляции морей.
2. На основе данных измерений скоростей течений и температуры в течение года (включая ледовый период) около западных берегов полуострова Ямал, получены новые данные о характере действующих физических механизмов развития разномасштабных гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Карского моря. Представляет интерес анализ автоколебаний подлёдных мезомасштабных течений, а также приливных и инерционных колебаний в полярной области на примере Карского моря.
3. Обнаружено, что в ледовый период существуют циклы продолжительностью около 15 суток, заброса холодных и высокосолёных вод из котловины Северного ледовитого океана (видимо по желобам Св. Анны и Воронина). Предполагается, что летом в юго-западной части Карского моря, около полуострова Ямал, над водами котловины Северного ледовитого океана формируется характерная структура стратификации Карского моря в результате солнечного прогрева, перемешивания пресных вод из стока рек Оби и Енисея, поступления баренцевоморских вод через Карские ворота и вокруг северной оконечности о. Новая Земля.
4. На основе наблюдения фронтальной границы взвесенесущих вод сделан вывод о третьем виде распространения неоднородностей в морской среде (наряду с диффузией и адвекцией)..

Спасибо
за внимание



Мельников Василий Андреевич,
Институт океанологии
им. П.П.Ширшова РАН ,
vmelnikov@ocean.ru