

*XXI I Международная конференция*  
«Современные проблемы дистанционного зондирования  
Земли из космоса», 11 – 15 ноября 2024 г.

## О течениях Карского моря: спутниковые наблюдения и измерения *in situ*

***Амбросимов А.К., Мельников В.А.***

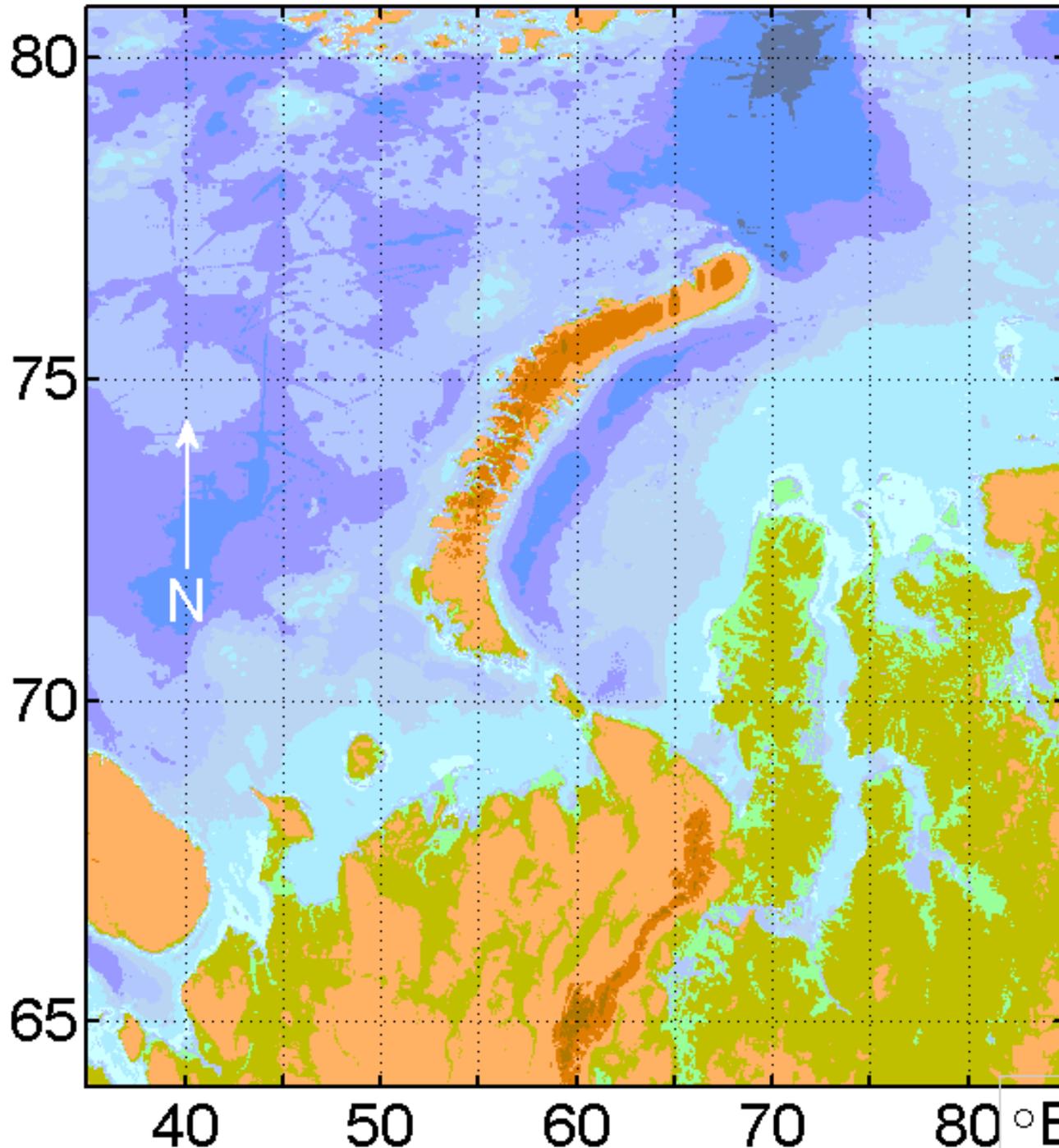
Институт океанологии им.П.П.Ширшова  
РАН

[vmelnikov@ocean.ru](mailto:vmelnikov@ocean.ru)

12 ноября 2024

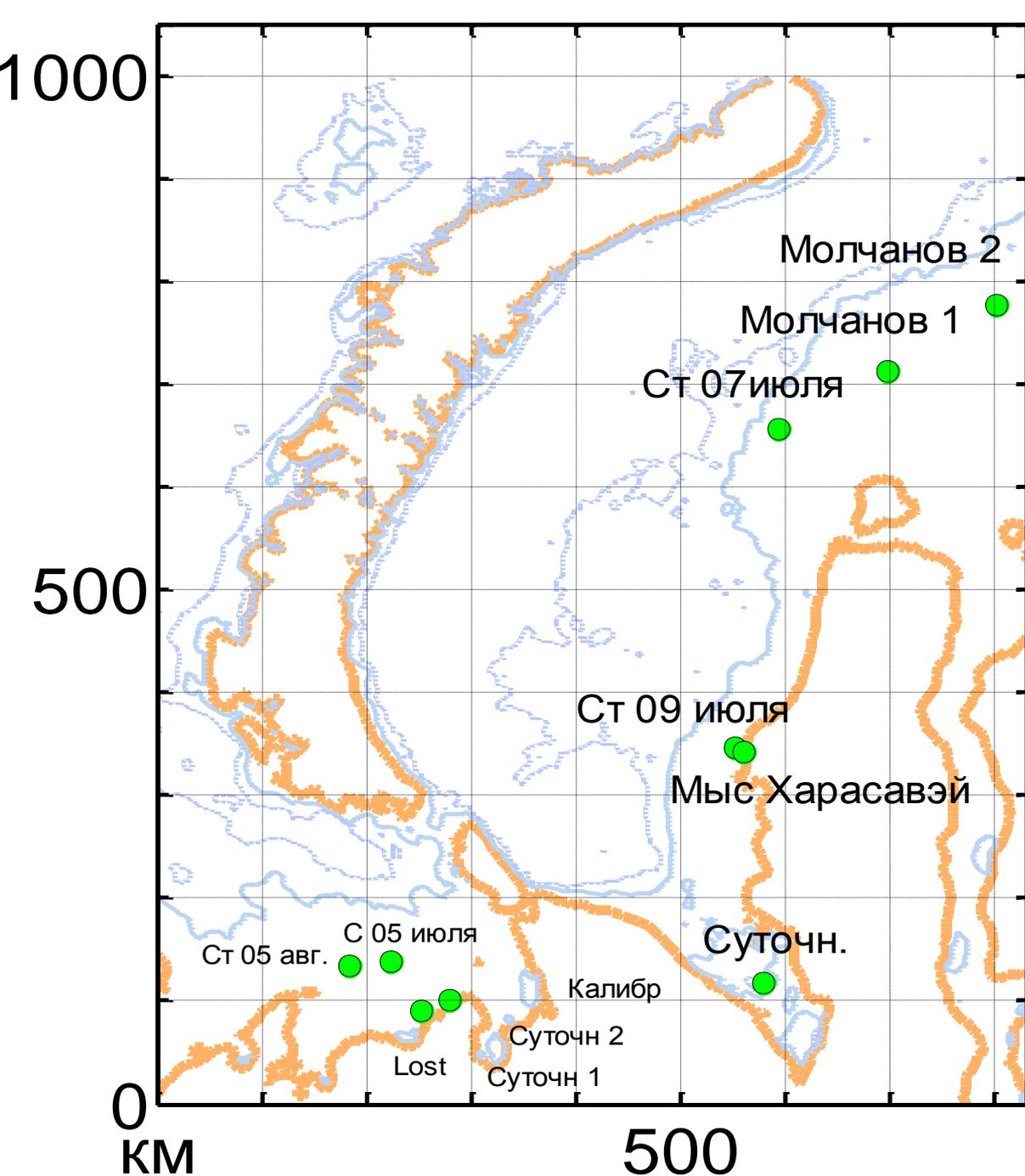
г. Москва, ИКИ РАН





Гидродинамическая система Карского моря представляет большой интерес как уникальный арктический «реактор» смешения трёх видов вод. Главной составляющей глобального по масштабам процесса смешения на юге моря является огромный сток великих сибирских рек, пресные воды которых растекаются тонким слоем на поверхности моря над холодными высокосолёными водами Арктического бассейна. С юга (пролив Карские ворота) и с севера (желоб Святой Анны, арх. Земля Франца-Иосифа) от о. Новая Земля поступают более тёплые воды Баренцева моря, которые являются трансформированными Атлантическими водами.

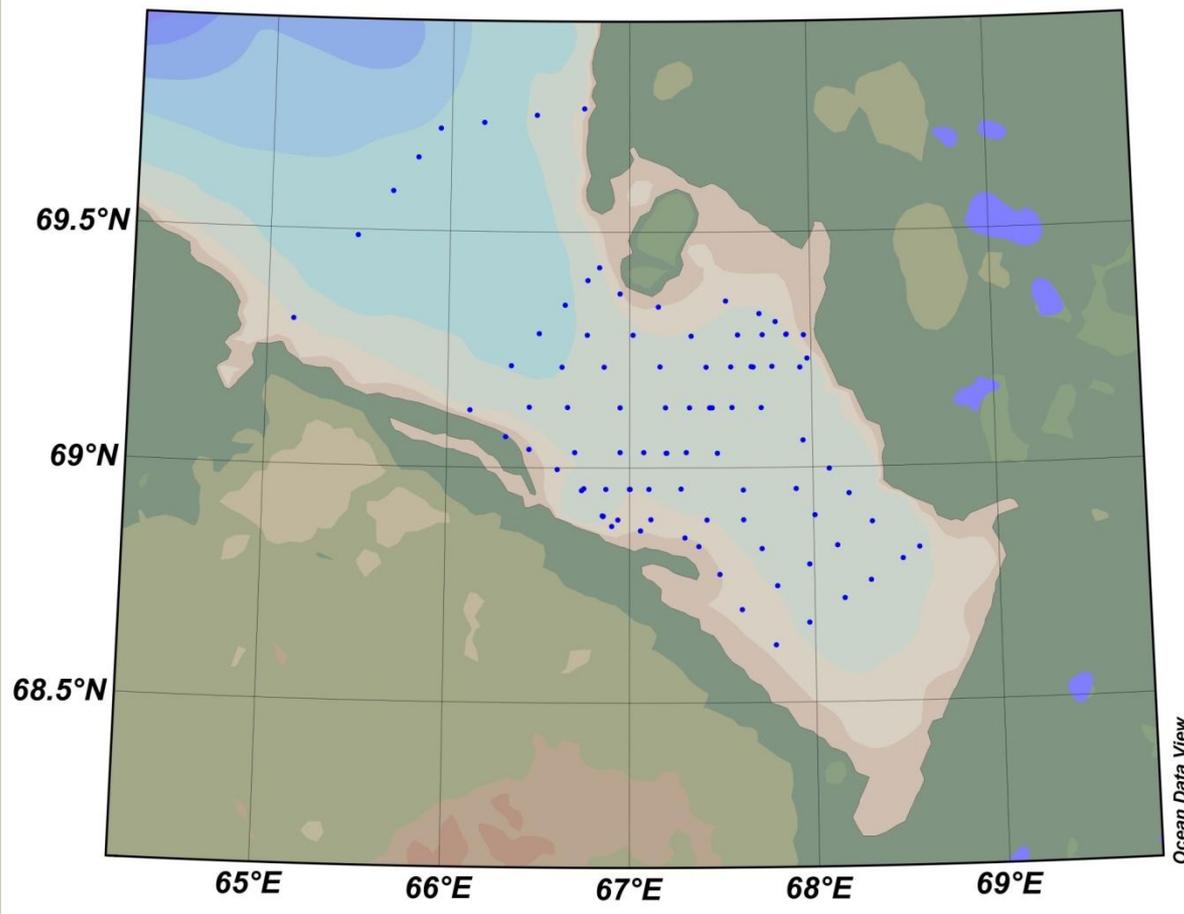
Баренцево и Карское моря. Рельеф земной поверхности и дна моря. Шкала высот до 1500 м, глубин - 1000 метров. Данные от Smith, W.H.F. and D.T.Sandwell (1997), разрешение 1'.



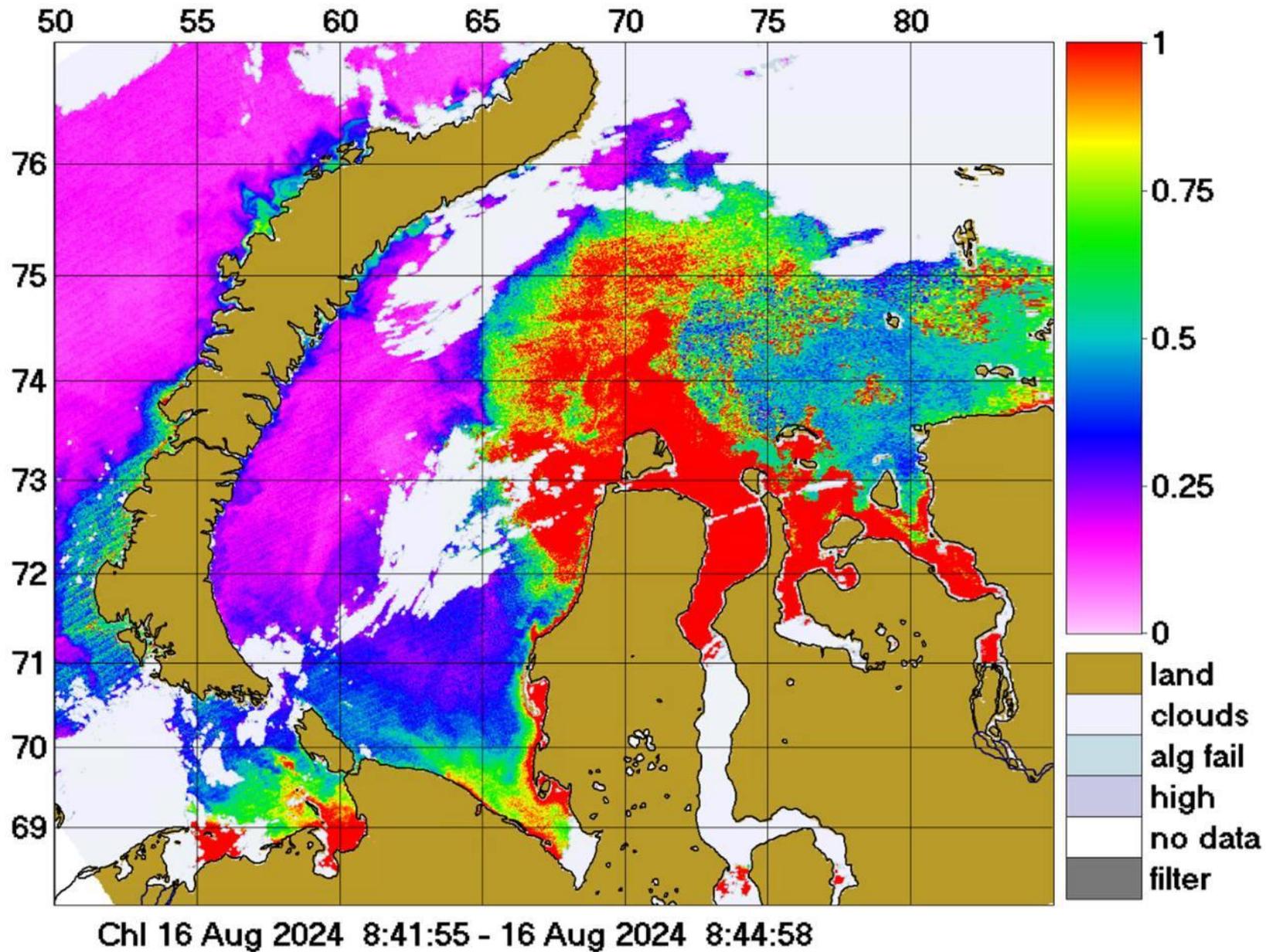
К настоящему моменту в Карском море проведено немало экспедиций по фундаментальным и прикладным задачам (Амбросимов и др. 2020-2024; Гудошников и др., 2018; Поярков, Недоспасов, 2021a,b; Флинт, Поярков, 2015; Архипов и др., 2013; Зацепин и др., 2010; Zatsepin et al., 2010; Harms, Karcher, 2005; Pivovarov et al., 2003; Volkov et al., 2002; Kulakov, Stanovoi, 2002; Scherbinin, 2001; McClimans 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.

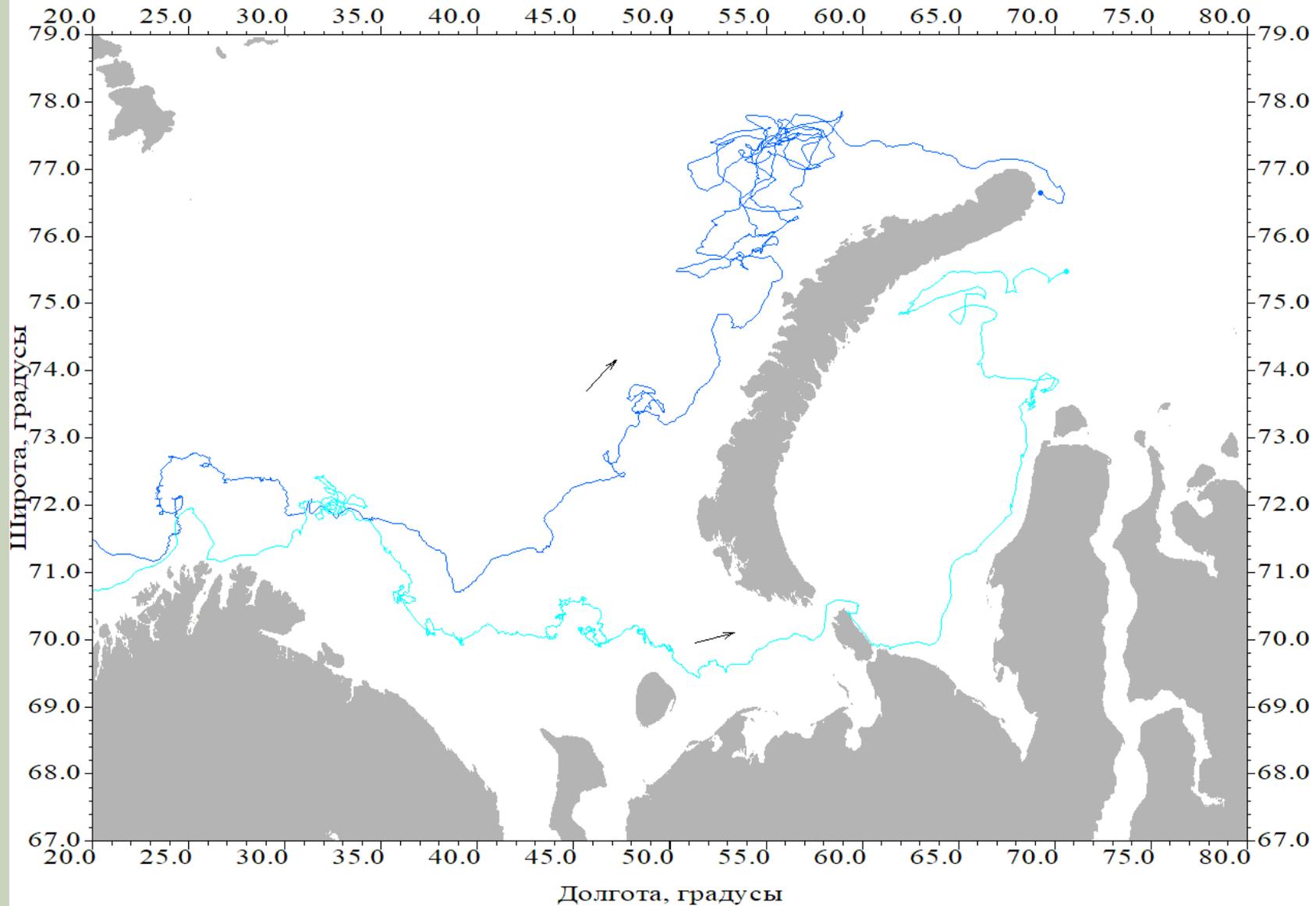
### Точки зондирования в Байдарацкой губе



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 объёму данных научный материал, позволяющий детально исследовать динамику вод и гидрологическую структуру Байдарацкой губы и юго-западной части Карского моря.

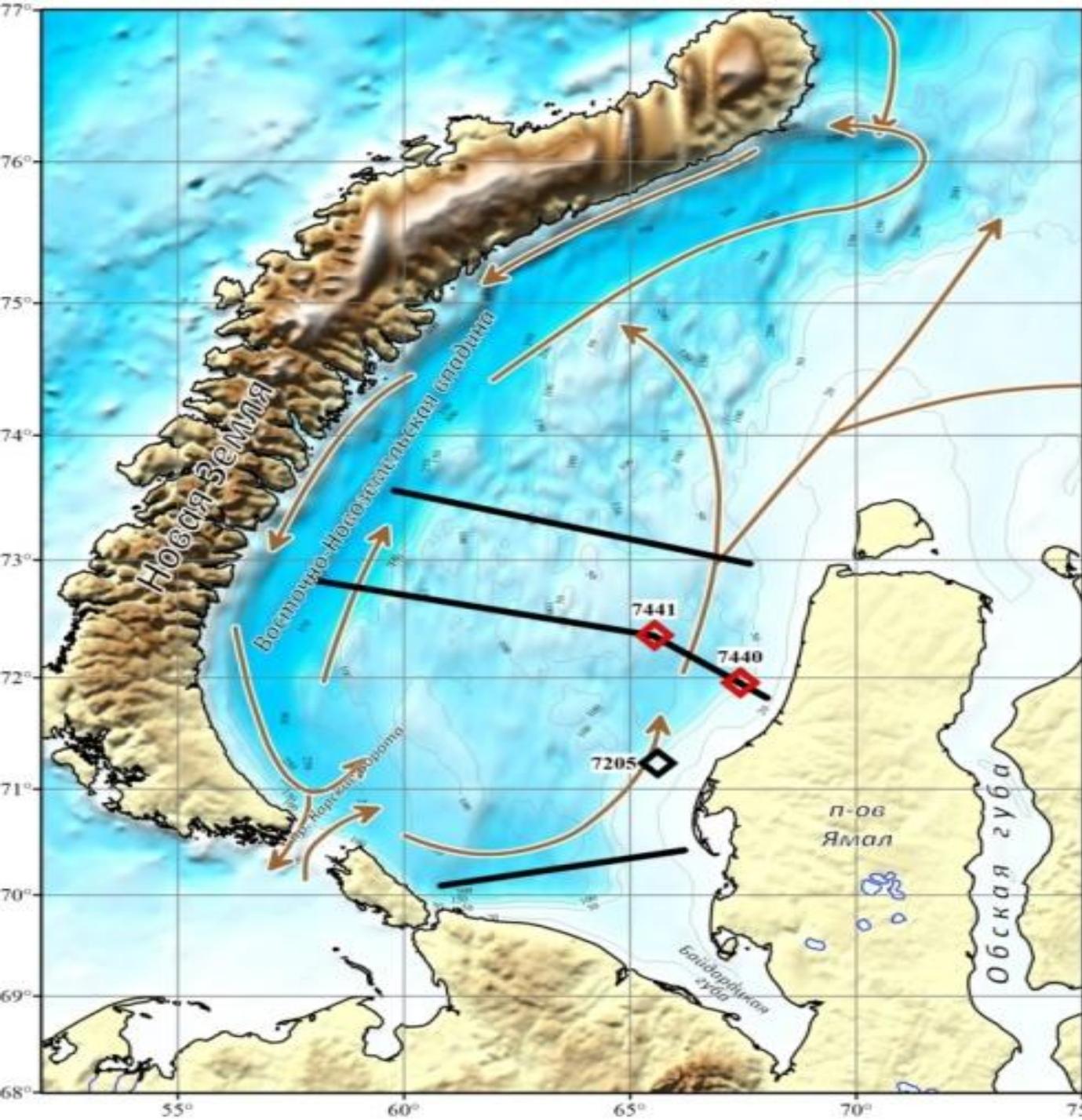


В распределениях хлорофилла по спутниковым данным отражаются водные массы на поверхности Карского моря.

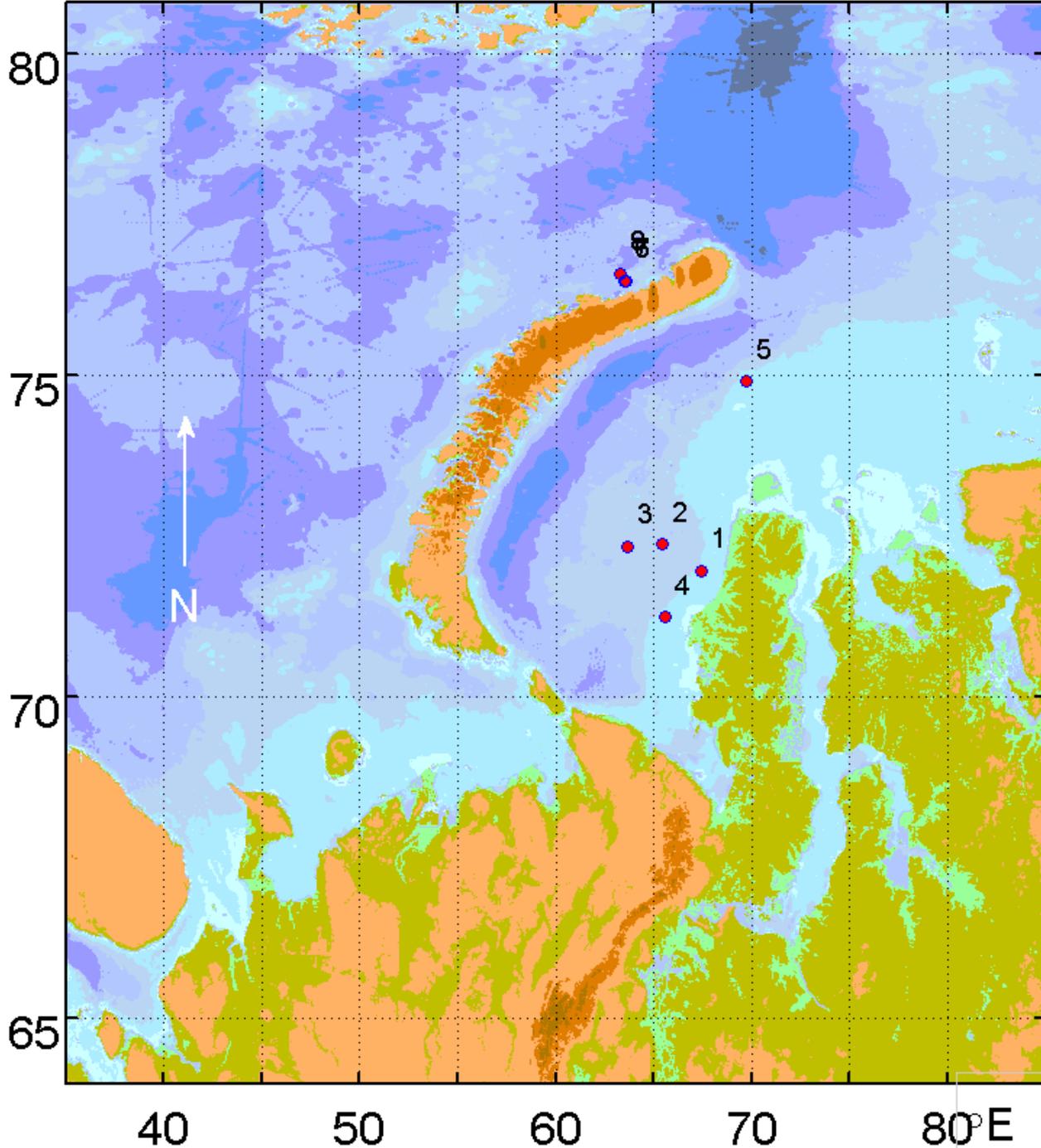


Траектории дрейфтеров ARGO(s) ## 76807 & 46280.

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



Карта-схема района исследований с указанием точек постановок ПБС, №№7440 и 7441, с измерителями скорости течений и температуры на горизонте 45 м, в 10-ти м от дна. Станции простояли почти год (2021-2022 гг.), в том числе и подо льдом. Черными линиями нанесены разрезы, вдоль которых скорость течений измерялась при помощи судового АДСП. Красными стрелками указывается предположительная циркуляция баренцевоморских вод в Карском море.



Эксперимент по измерению течений и сравнению показаний ADCP и Инклинометров на буйковых станциях в 2021-2022 гг. в 89 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в ЮЗ части Карского моря.. На глубинах 100 и 105 м были установлены две ПБС. На глубине 45 м был установлен ADCP Sontek Argonaut MD №811, а на глубине 50 м Инклинометр №IB21. Аналогично, на второй ПБС, на глубине 45 м был установлен ADCP №804 и на глубине 50 м инклинометр №IB22.

# Средства измерений

**Начало работы** **Конец работы**  
**АГОС-1, ст. 7733** **АГОС-1, ст. 7733**  
 19.11.2023 г. 14:54 МСК 25.11.2023 г. 06:30 МСК  
 76° 46,782'N  
 063° 54,930'E  
 Н = 225 м

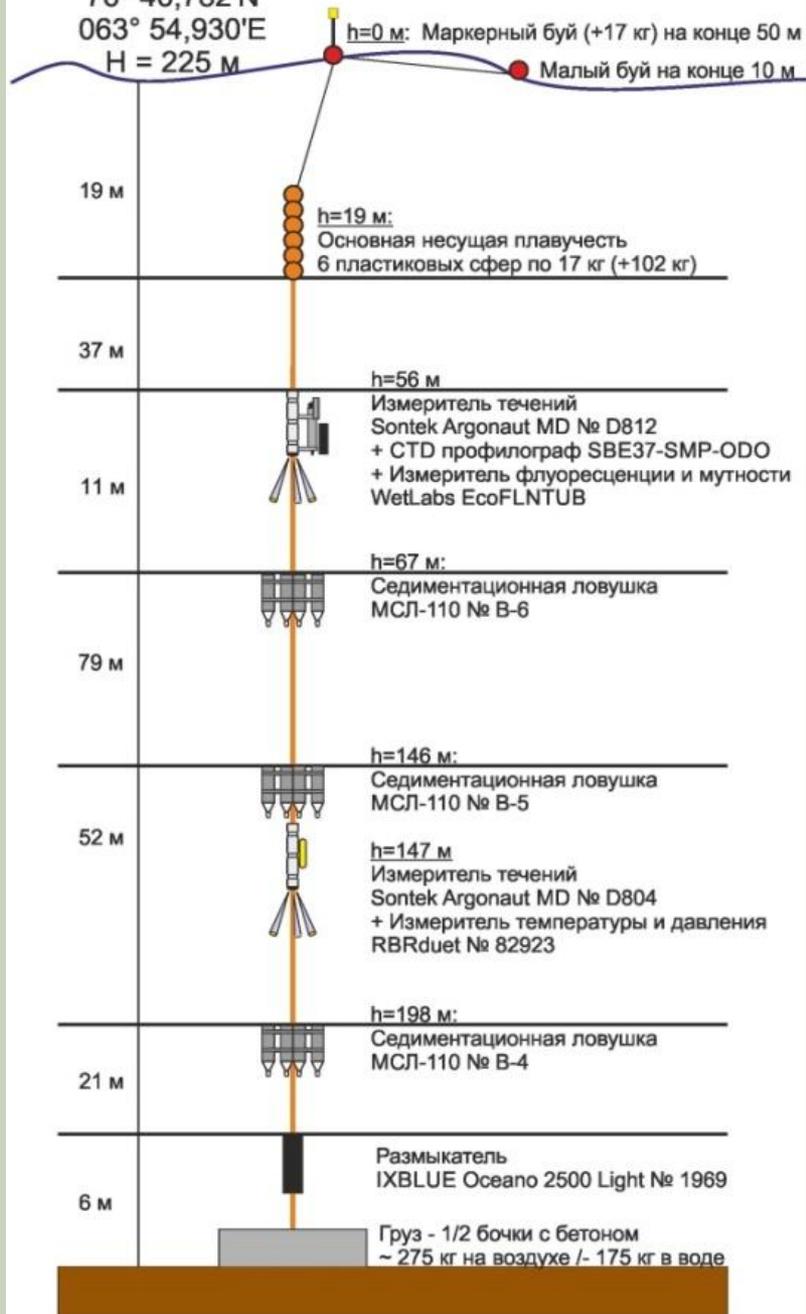
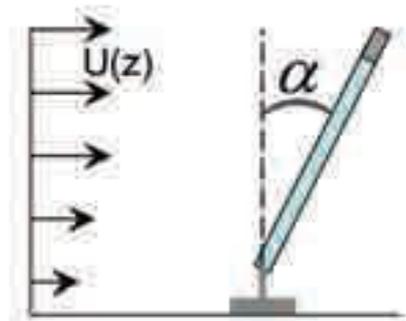


Схема притопленной буйковой станции.



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



Accelerometer



Pressure logger  
(Courtesy of M. Merrifield)



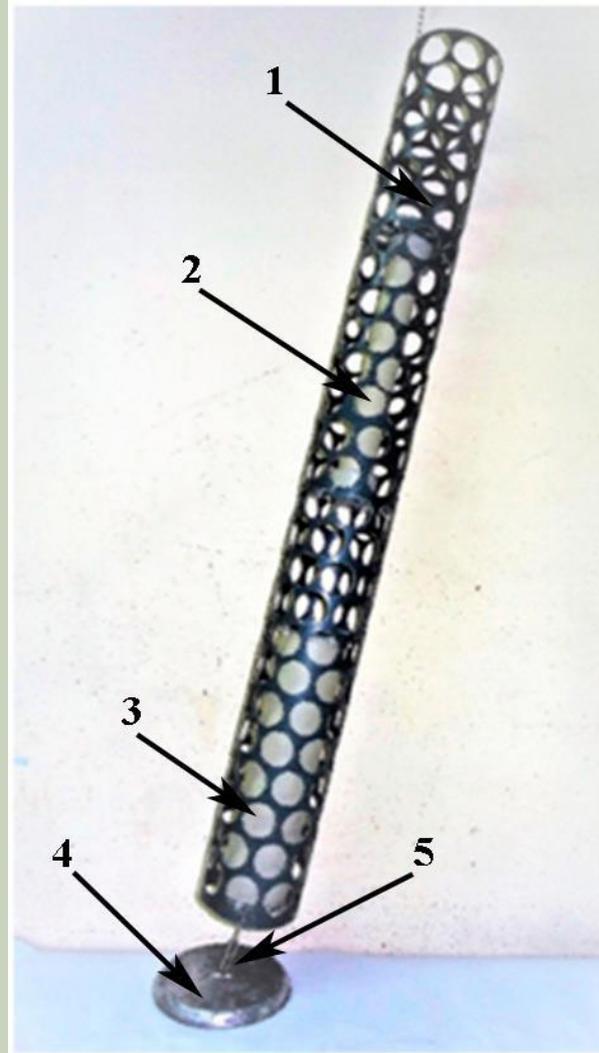
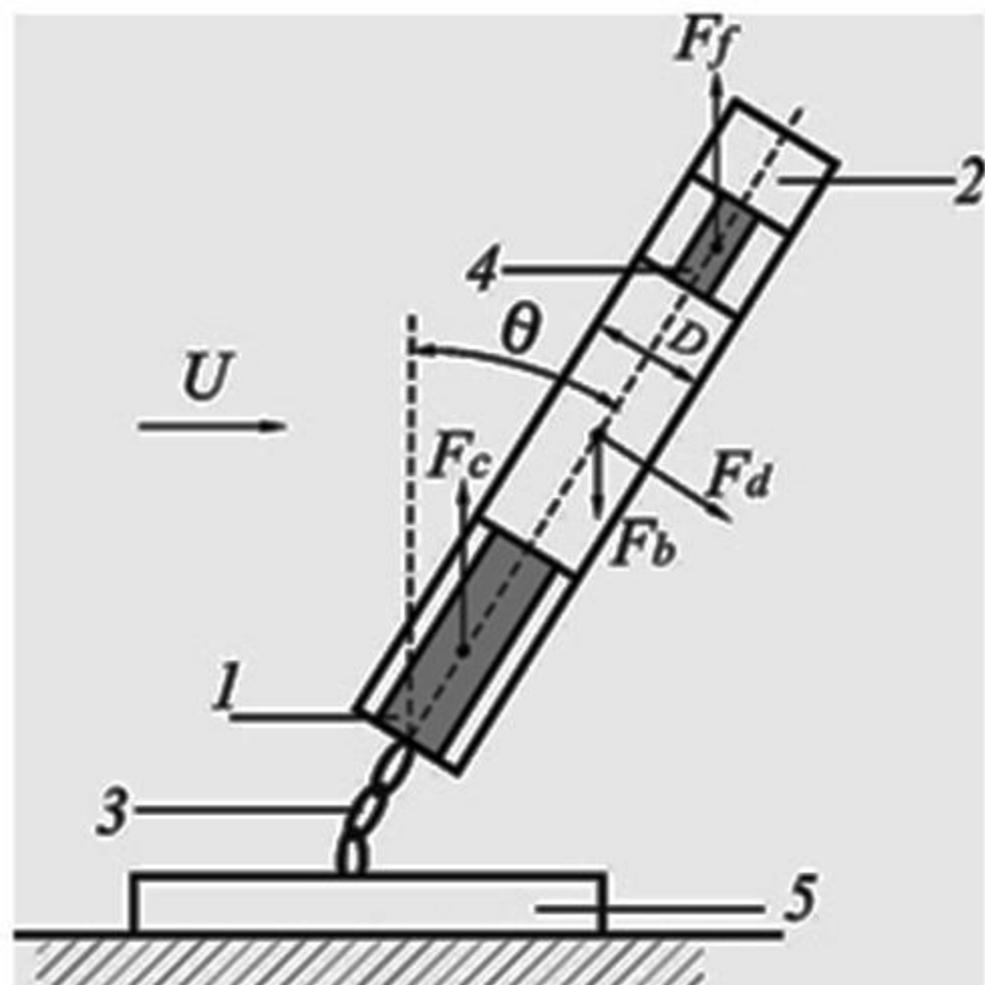
Temperature/Light



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.



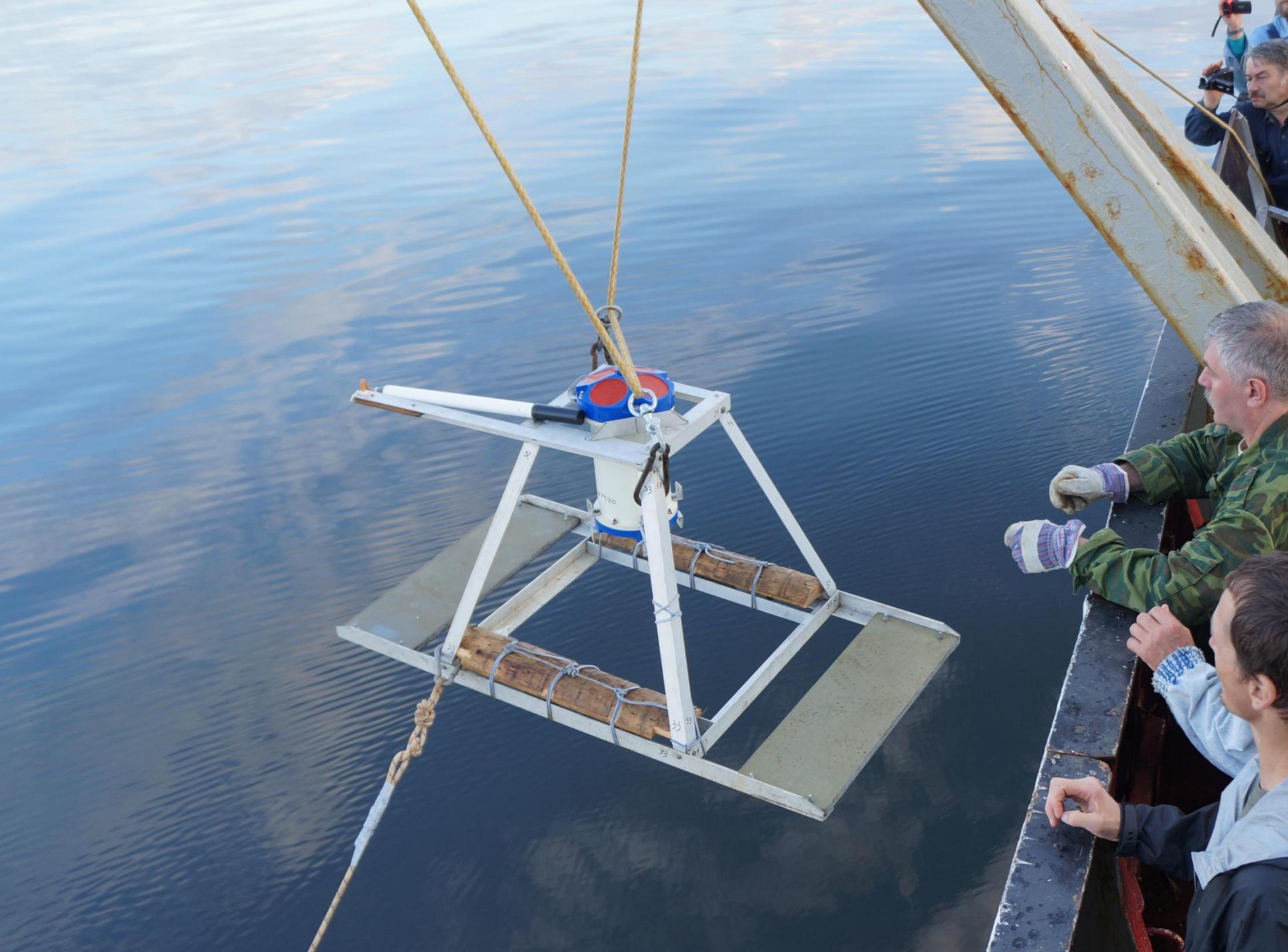
“Морской конёк” в работе .

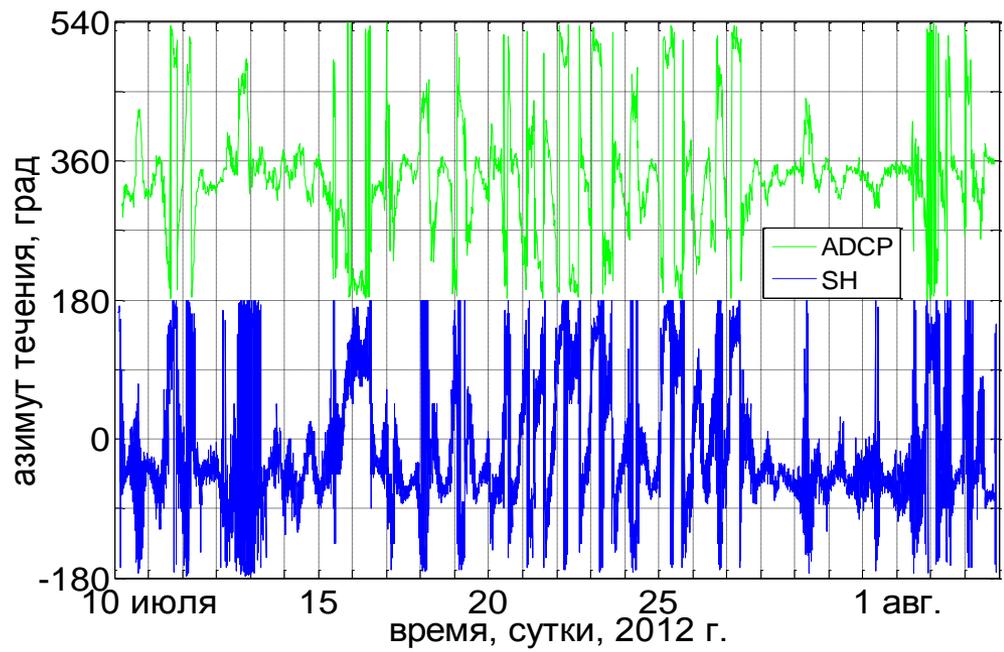
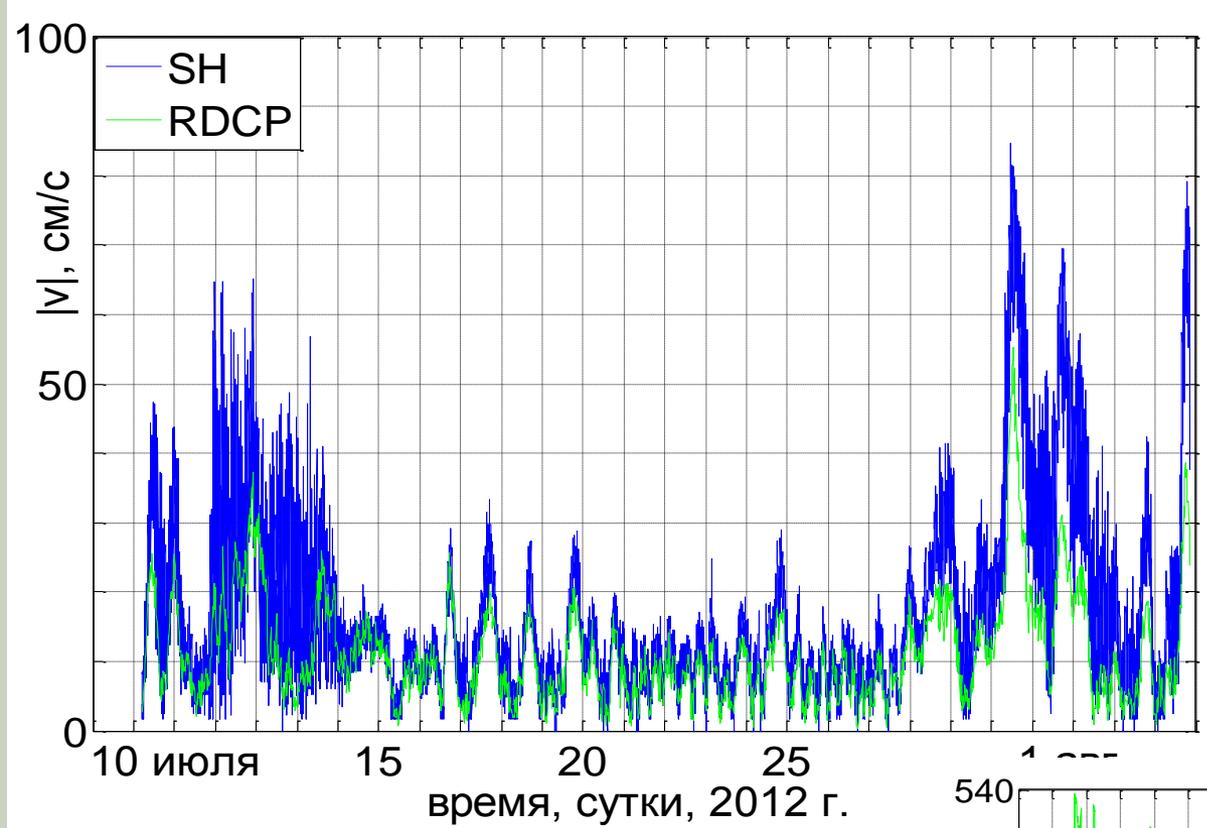


## Модернизация “Морского конька” в группе под руководством Паки В.Т.

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 гермоконтейнера,  $F_b$  –равнодействующая гидростатической силы и силы тяжести оболочки (отрицательная плавучесть),  $F_f$  –равнодействующая гидростатической силы и силы тяжести поплавка.

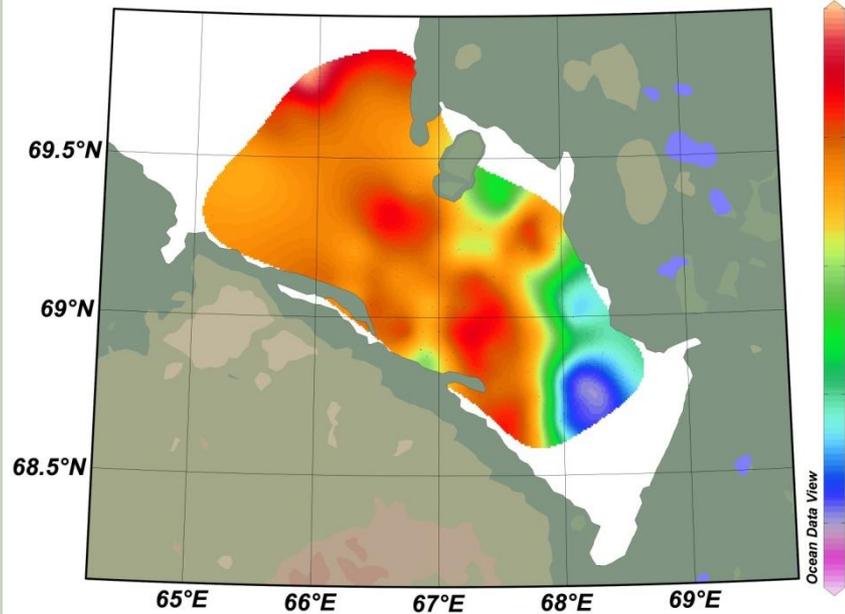
б) Конструкция инклинометра. 1 –перфорированная оболочка (длина 0.9 м, диаметр 0.11 м), 2 –модуль дополнительной плавучести (поплавок), 3 –приборный модуль, 4 –донный груз (2 кг), 5 –подвес (цепочка)



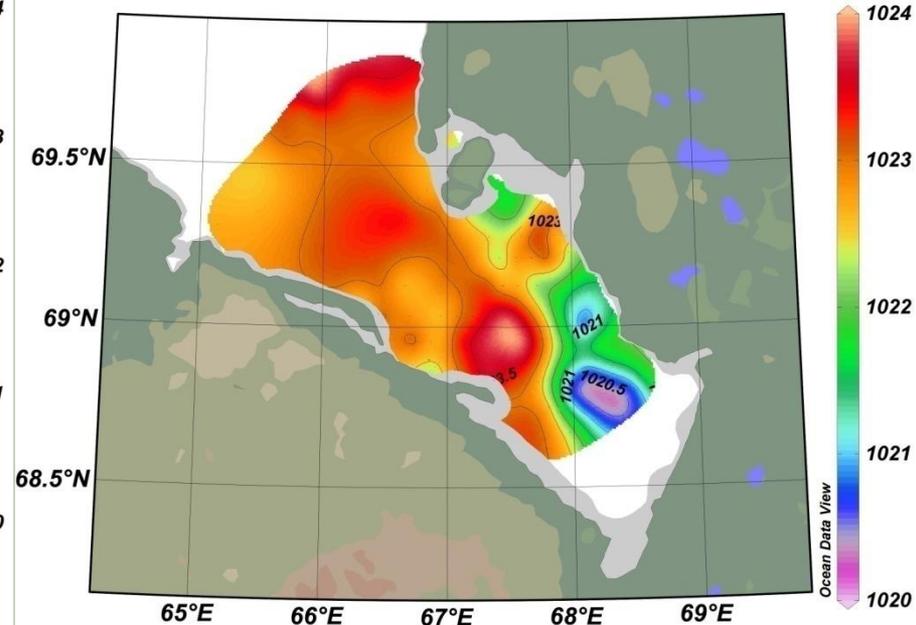


Автономная донная станция (АДС)  
 около порта Харасавей. Сравнение  
 RDCP 600 sn538 и SeaHorse.  
 Глубина - 18м. Горизонты – 15м до  
 17м.

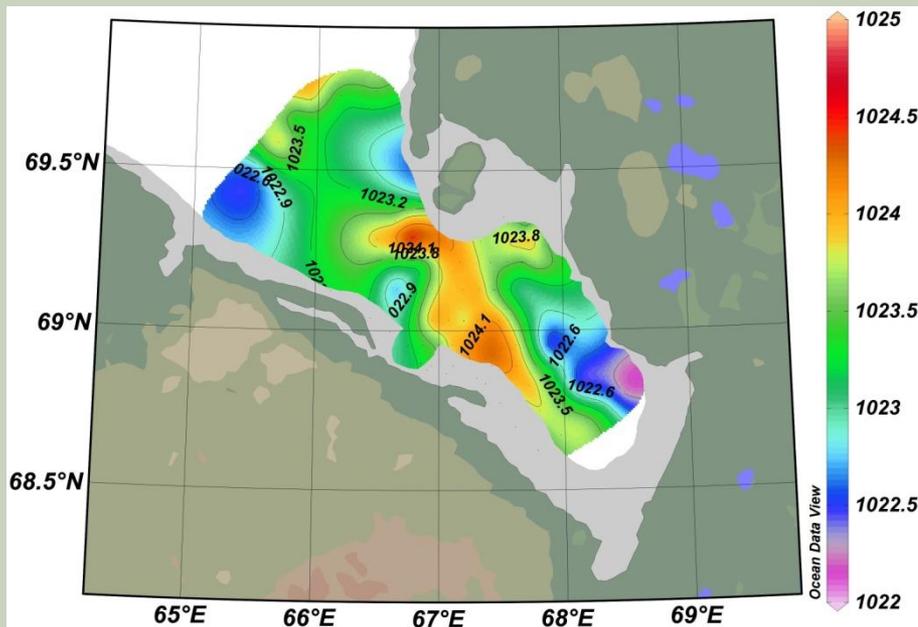
# Гидрология



Распределение плотности воды на глубине 1 м. Байдарацкая губа.

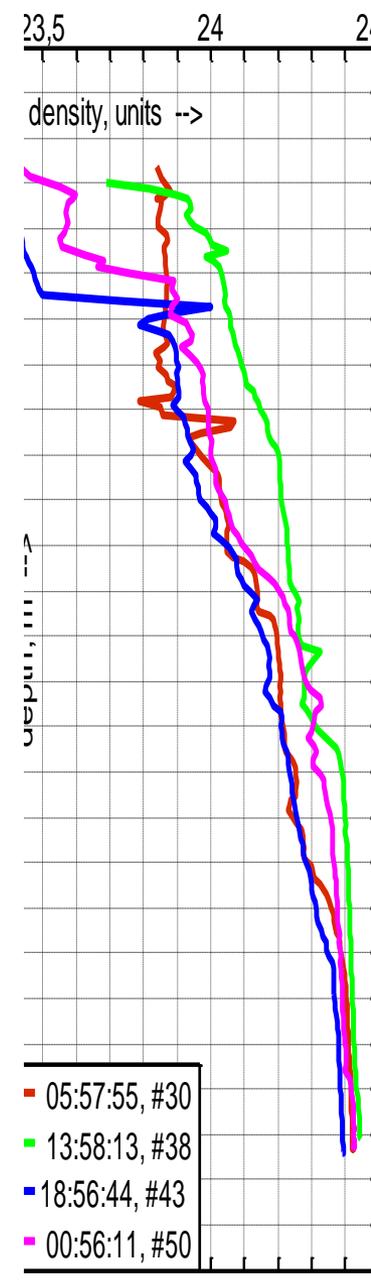
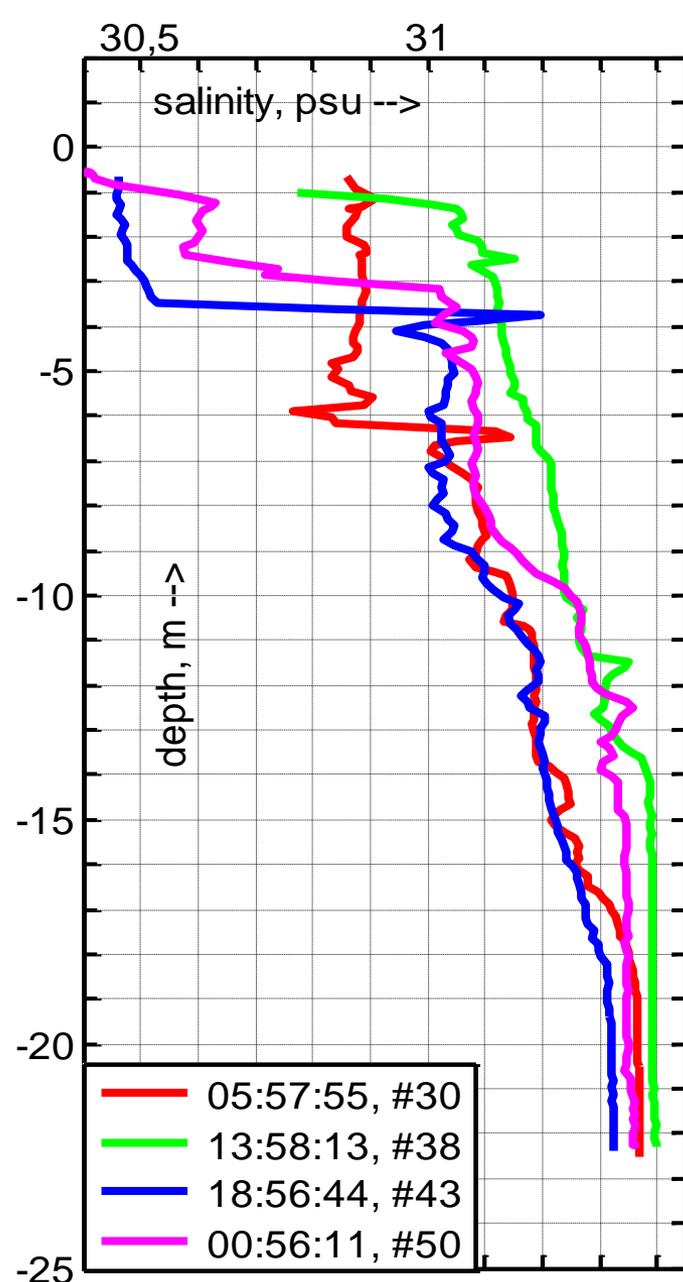
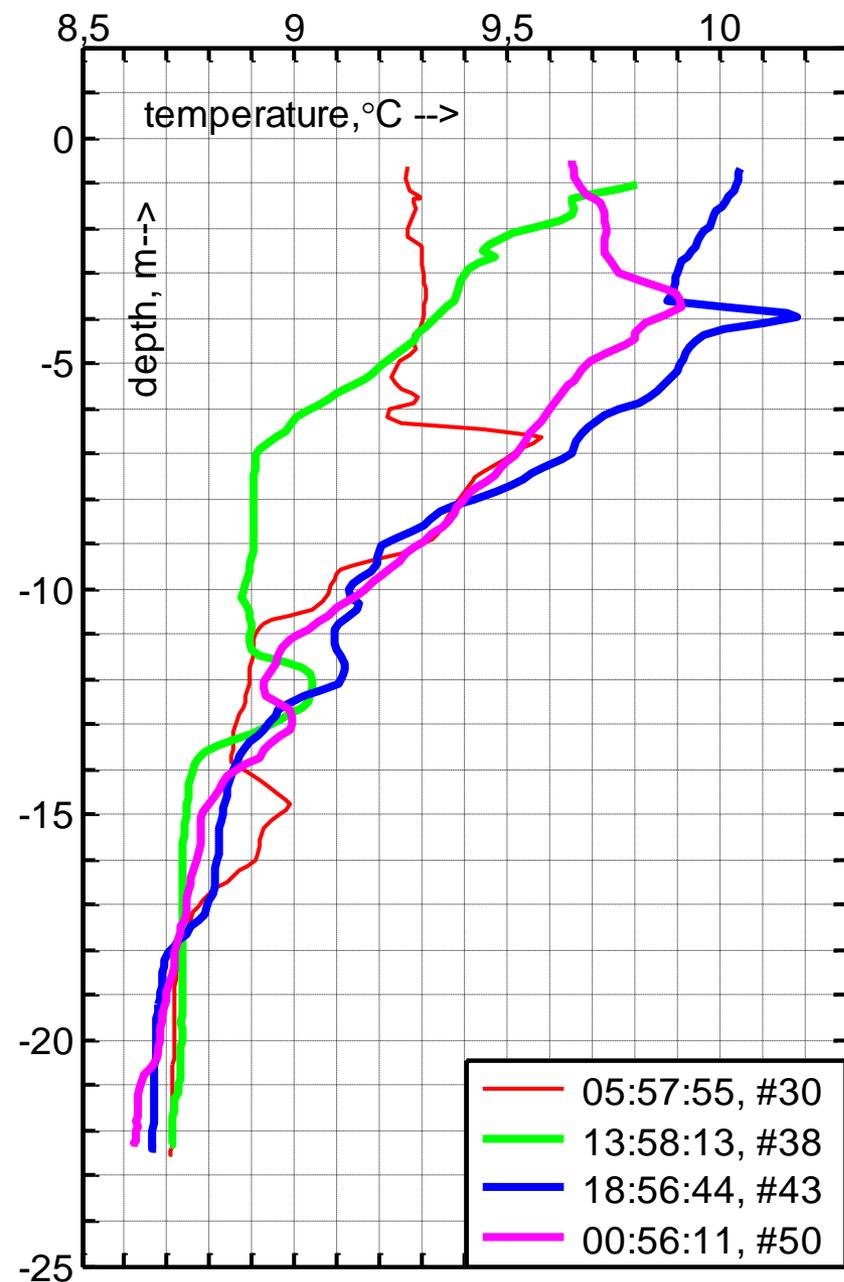


Распределение плотности воды на глубине 5 м. Байдарацкая губа.

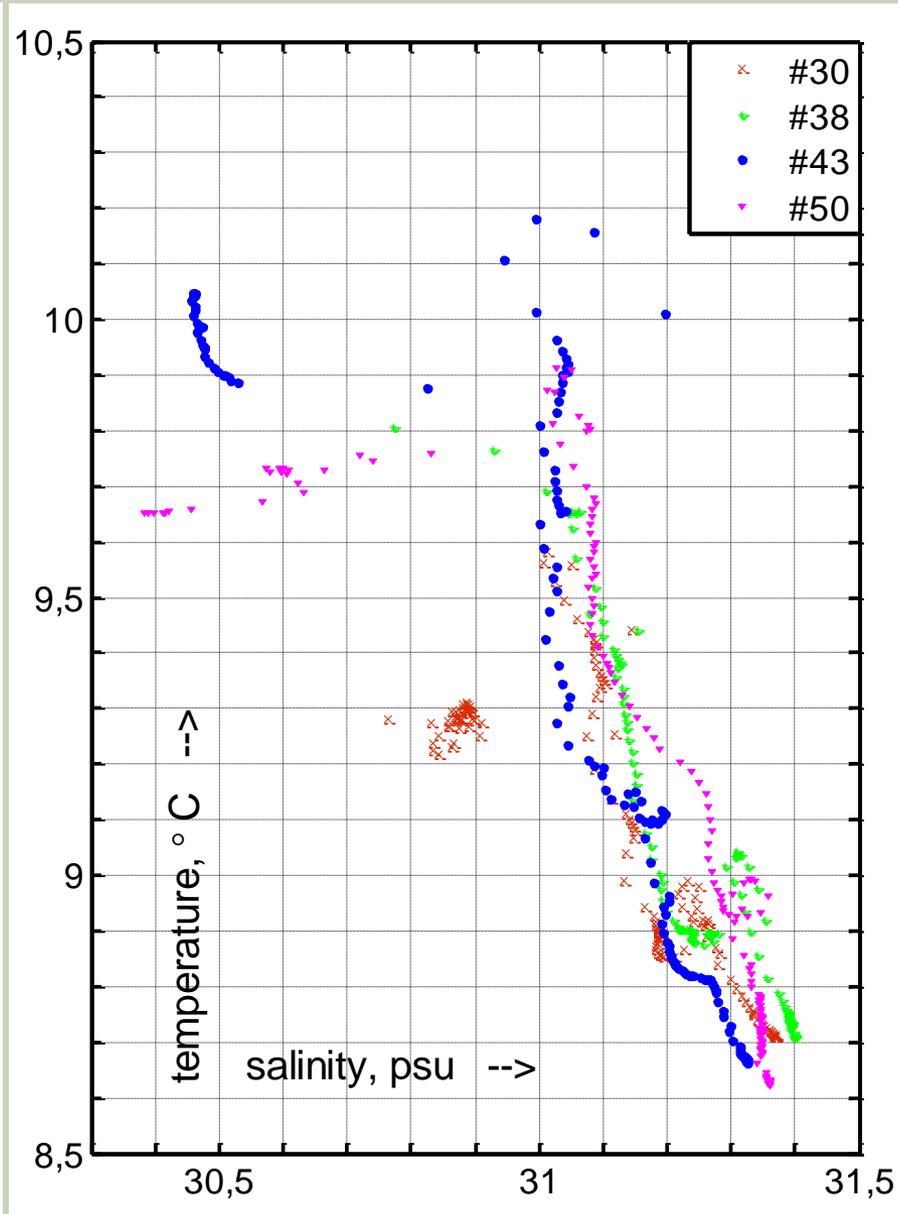
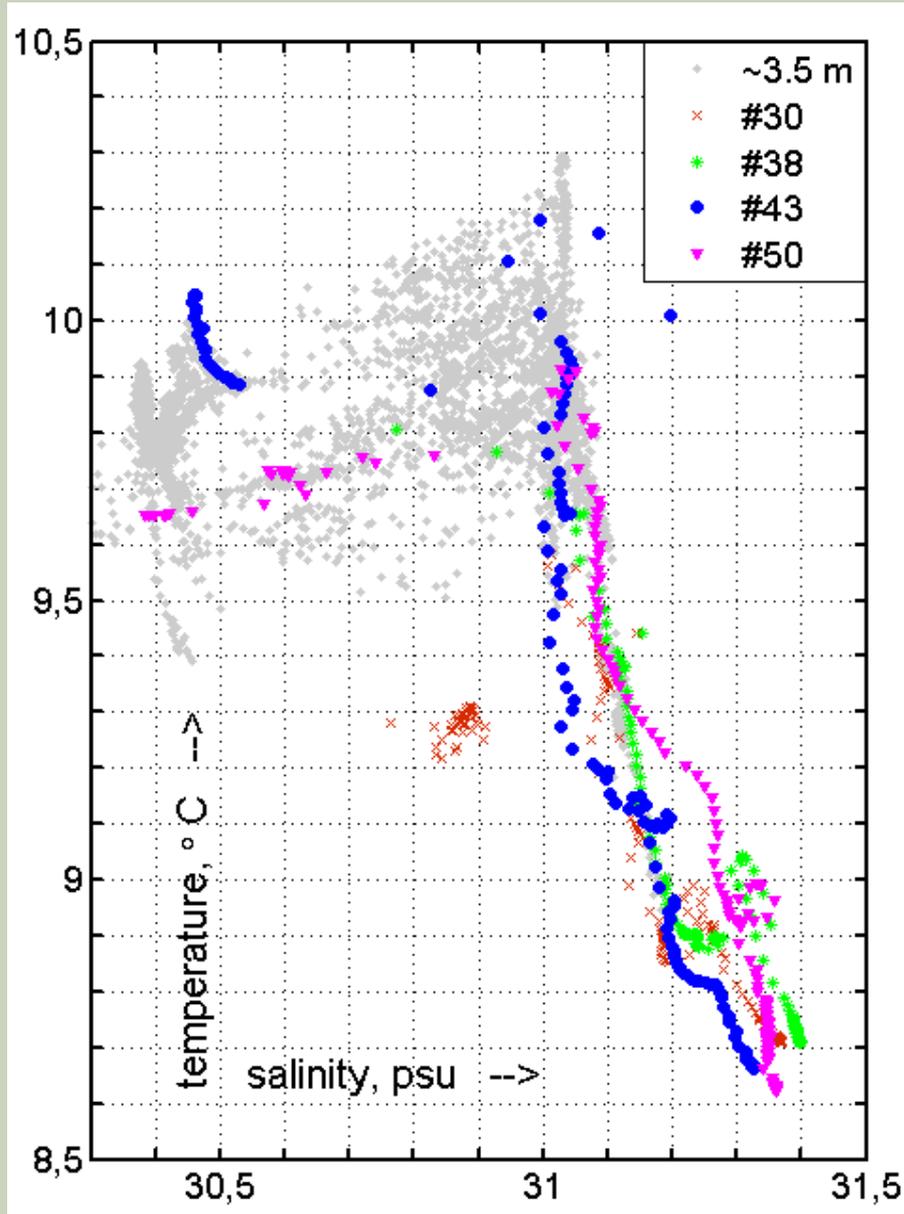


Распределение плотности воды на глубине 10 м. Байдарацкая губа.

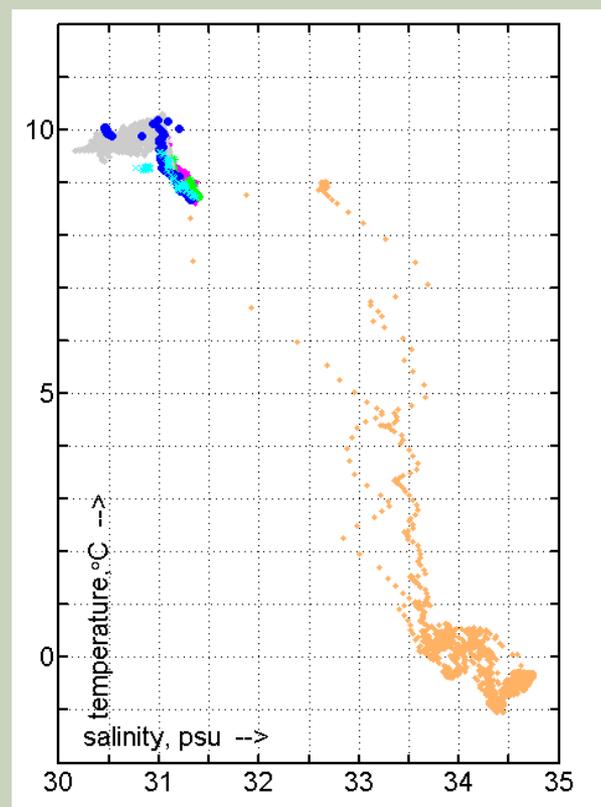
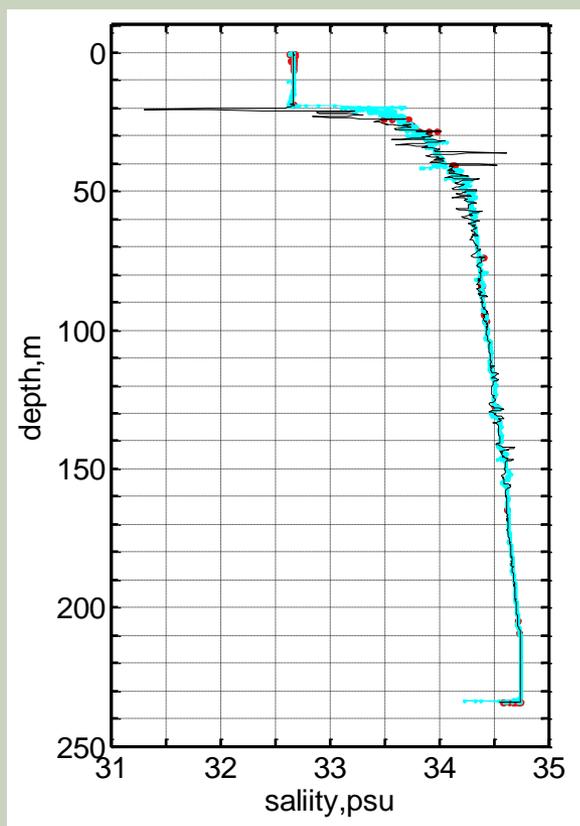
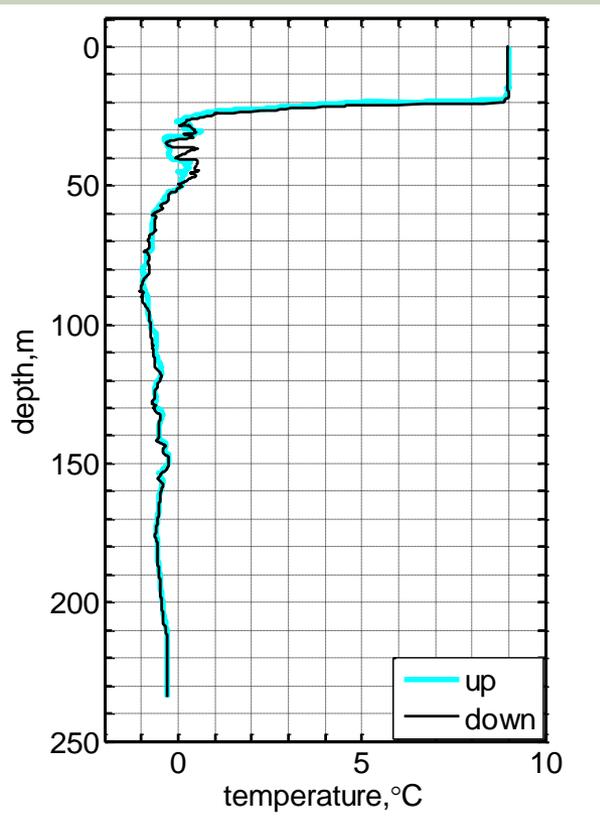
Гидрологическая съёмка в июле-августе 2012 г., в юго-западной части Карского моря (Байдарацкая губа) с борта НИС "Иван Петров".  
Температура на горизонтах 1, 5 и 10 м.



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

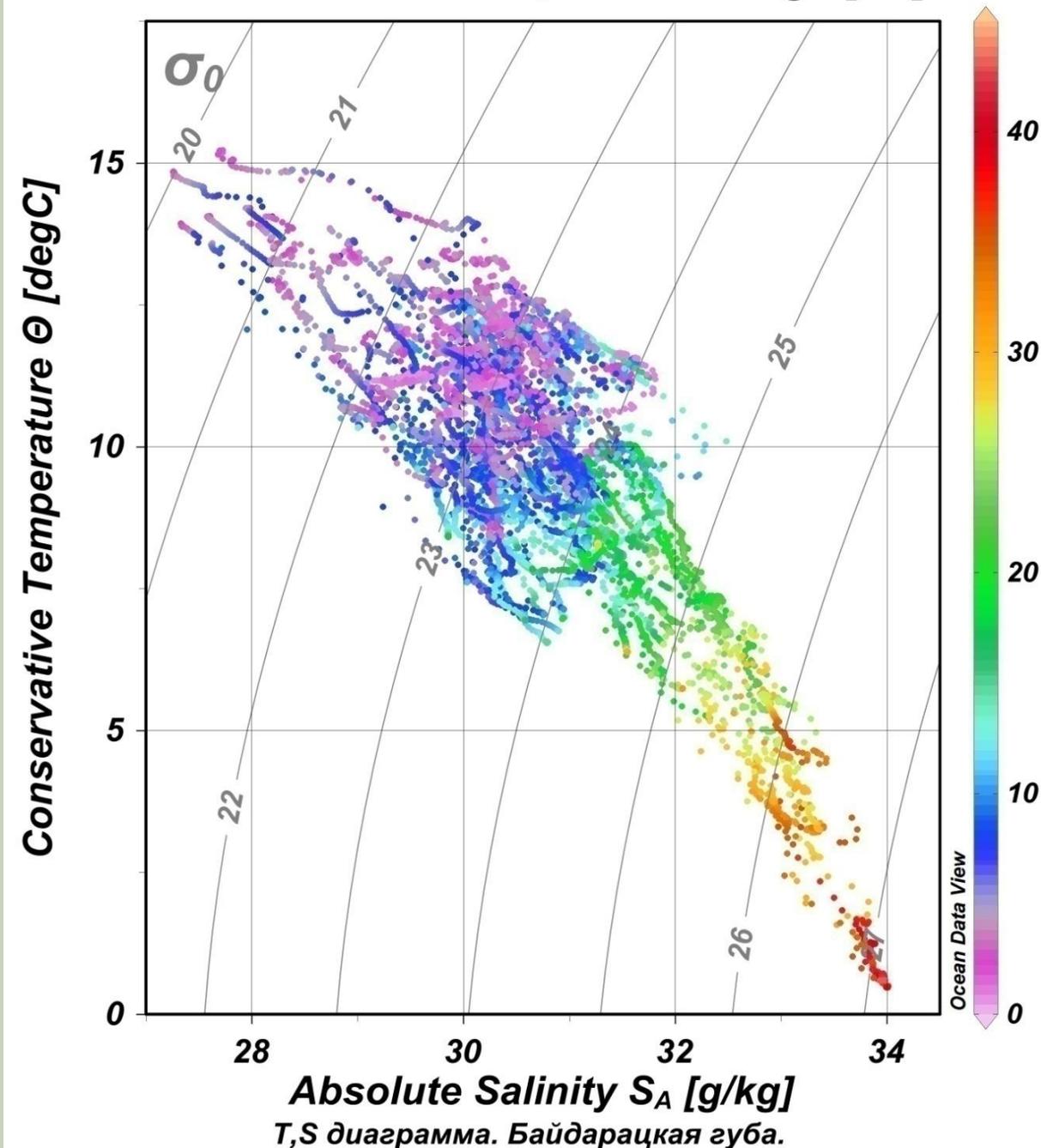


T-S диаграмма по данным зондирований на суточной станции (27 июля 2012 г.), в юго-западной части Карского моря (Байдарацкая губа).



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

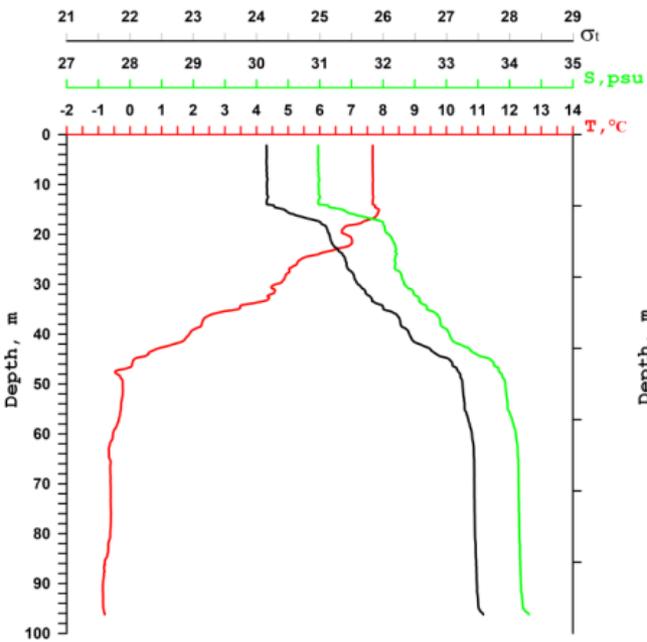
# Pressure, Strain Gauge [db]



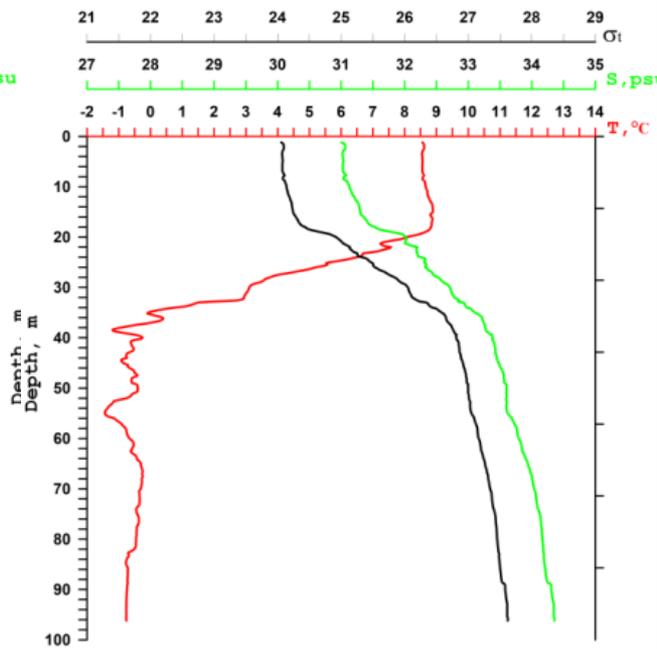
T,S диаграмма. Байдарацкая губа.

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

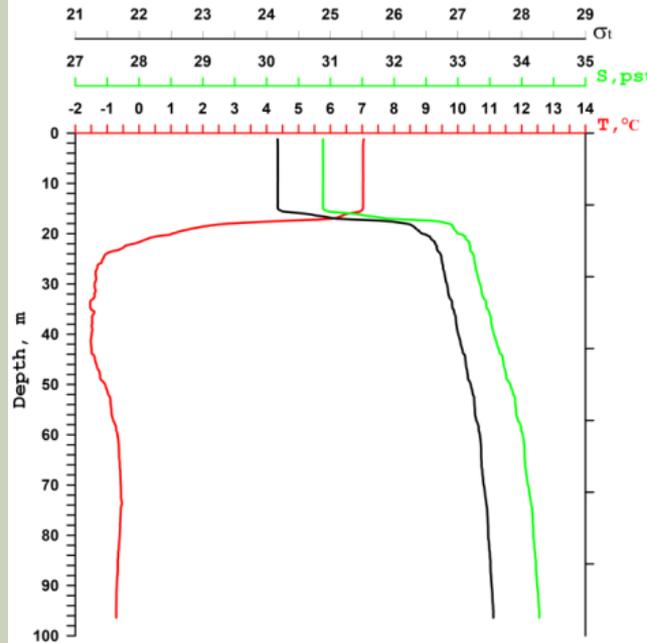
Cruise AMK-89-1  
Station AMK- 7440A / 01:44 14.09.2022



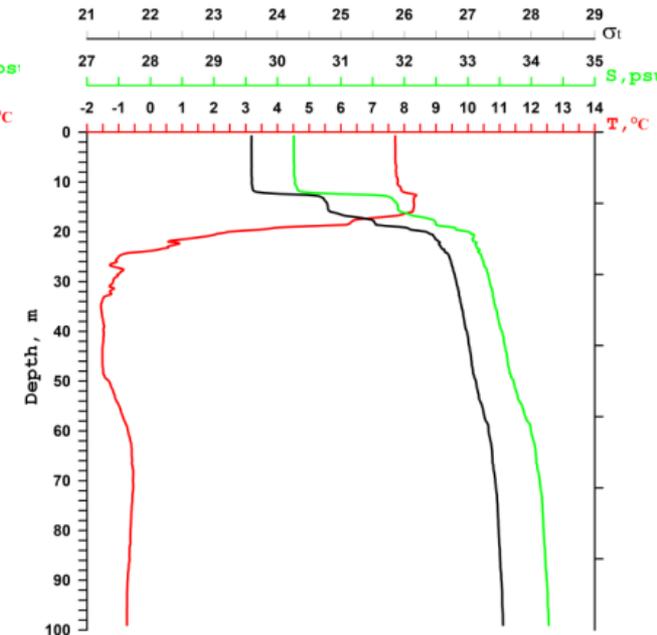
Cruise AMK-89-1  
Station AMK- 7440 / 07:16 10.09.2022



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



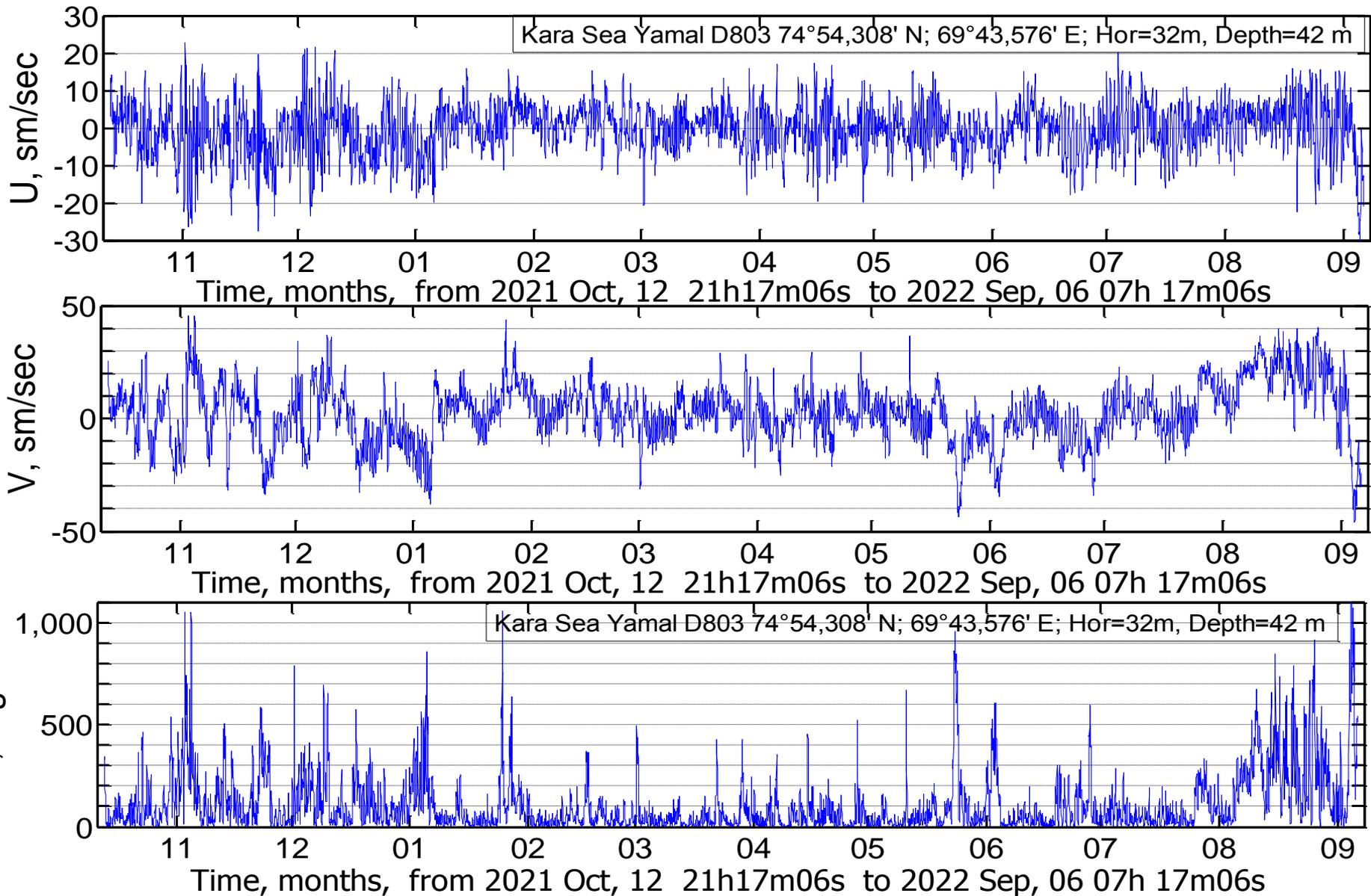
Cruise AMK-89-1  
Station AMK- 7441 / 16:02 10.09.2022



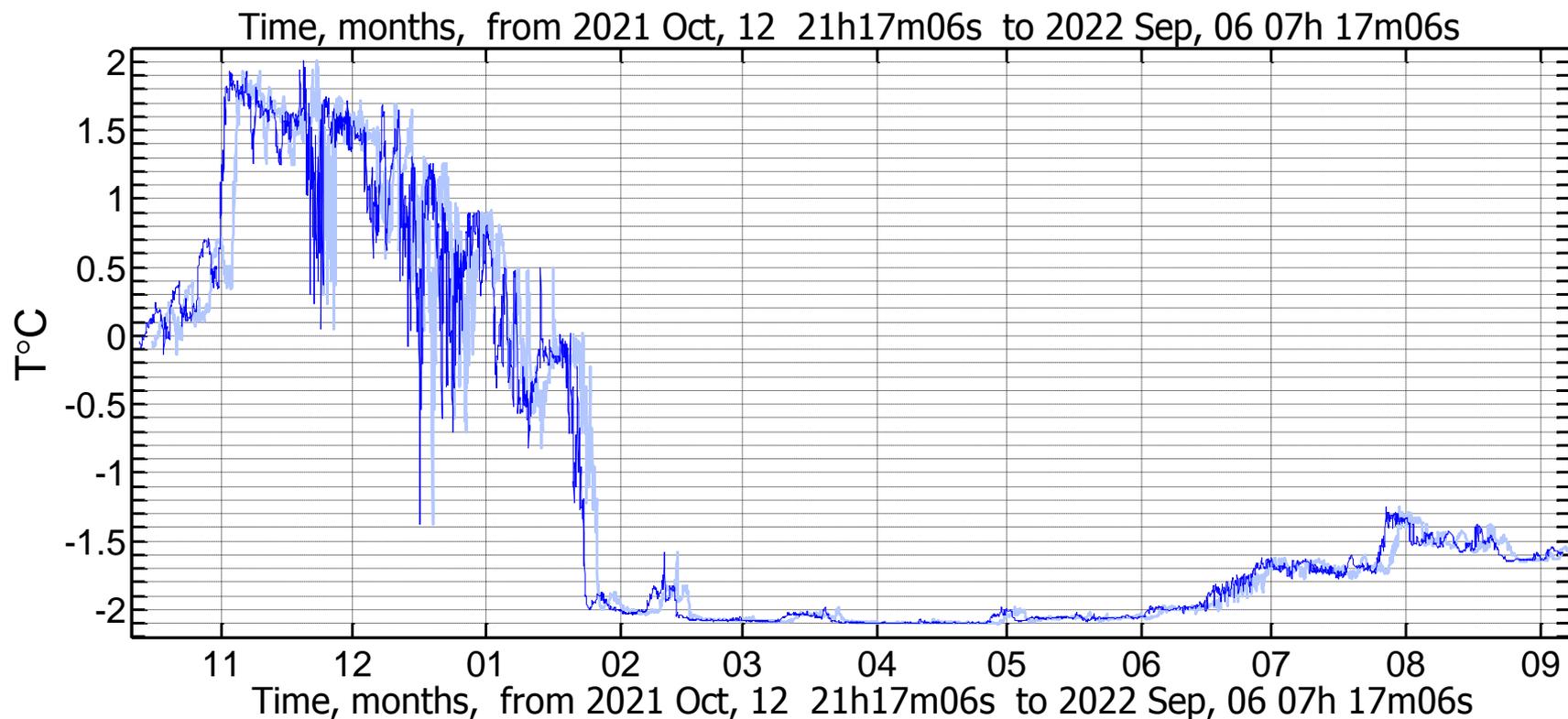
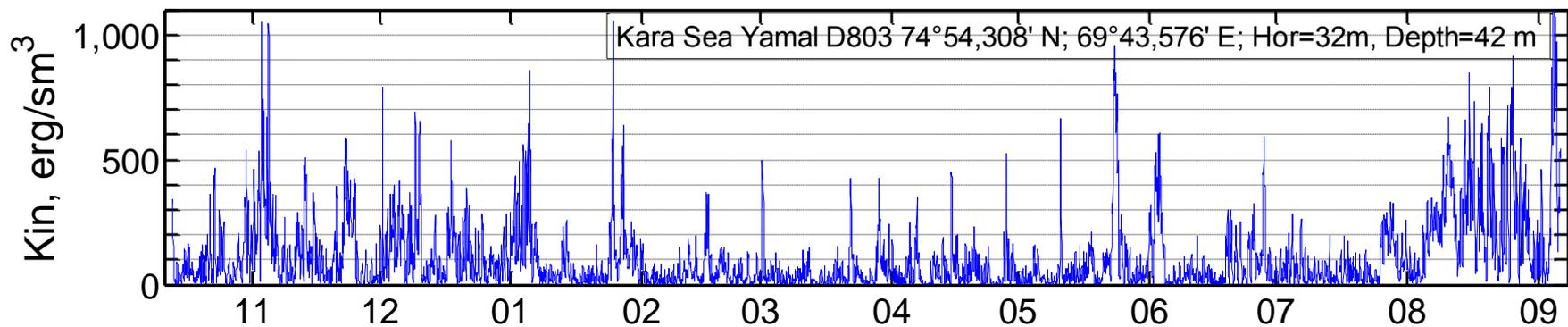
Вертикальные распределения CTD-параметров на ст.7440 и 7441 при постановке и снятии буев в ЮЗ части Карского моря.

Течения около западного побережья  
полуострова Ямал

Измеритель D803

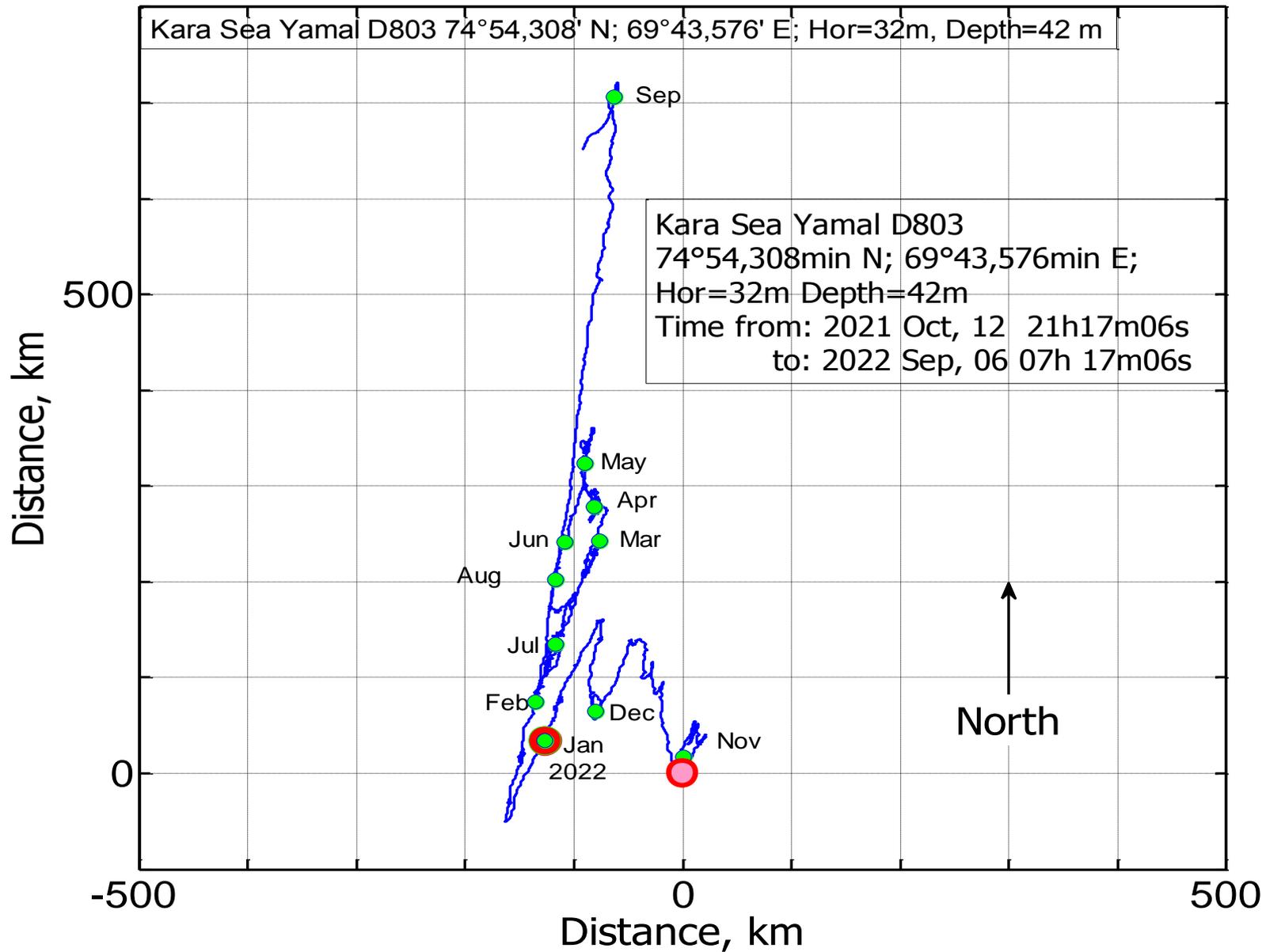


Декартовы компоненты горизонтальной скорости  $U, V$  и плотность кинетической энергии  $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$  на глубине 32m, при глубине моря 42m, на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s. Продолжительность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

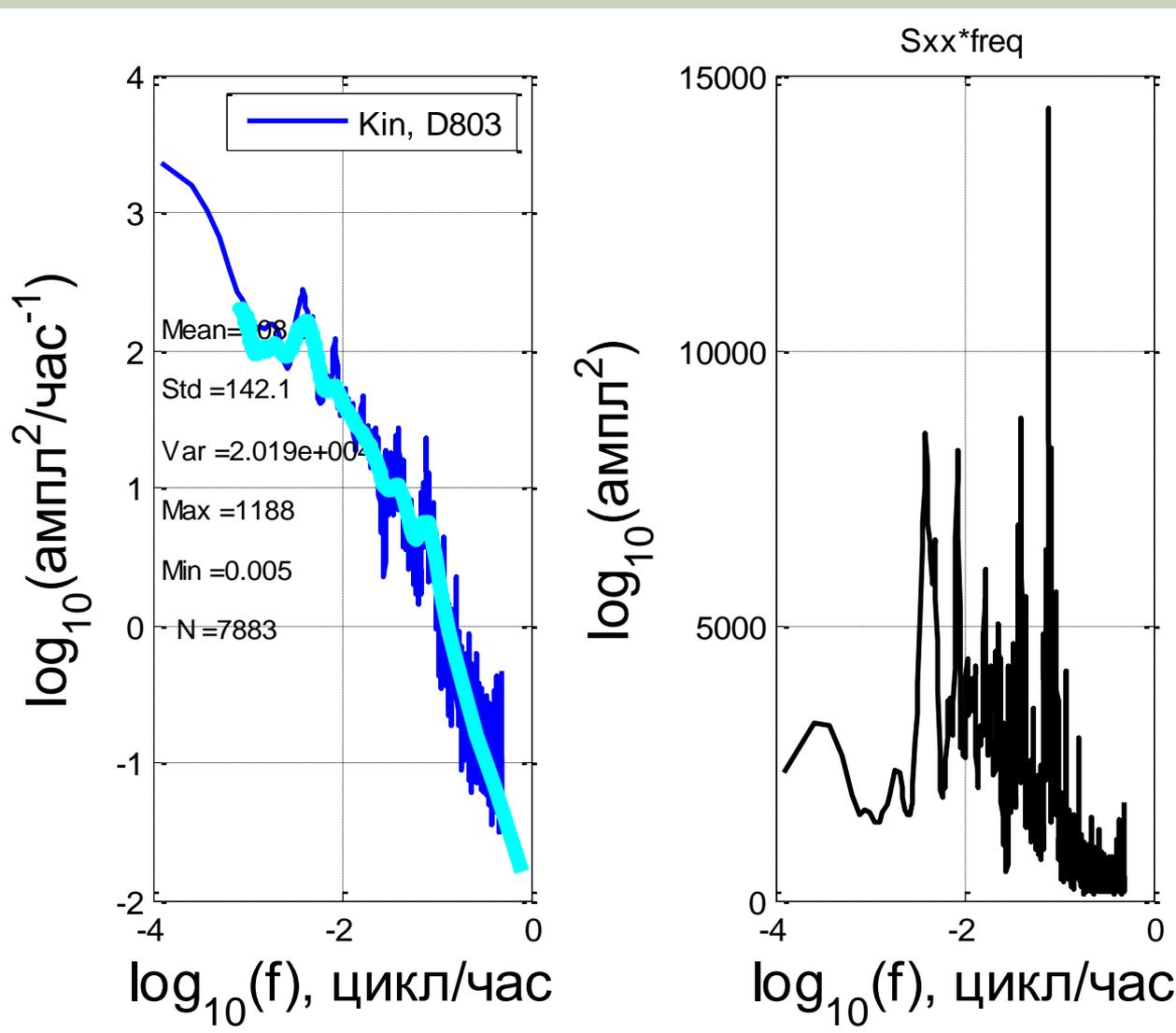


Плотность кинетической энергии  $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$  и температура воды на глубине 32 м, при глубине моря 42м, на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct, 12 21h17m06s по 2022 Sep, 06 07h 17m06s .

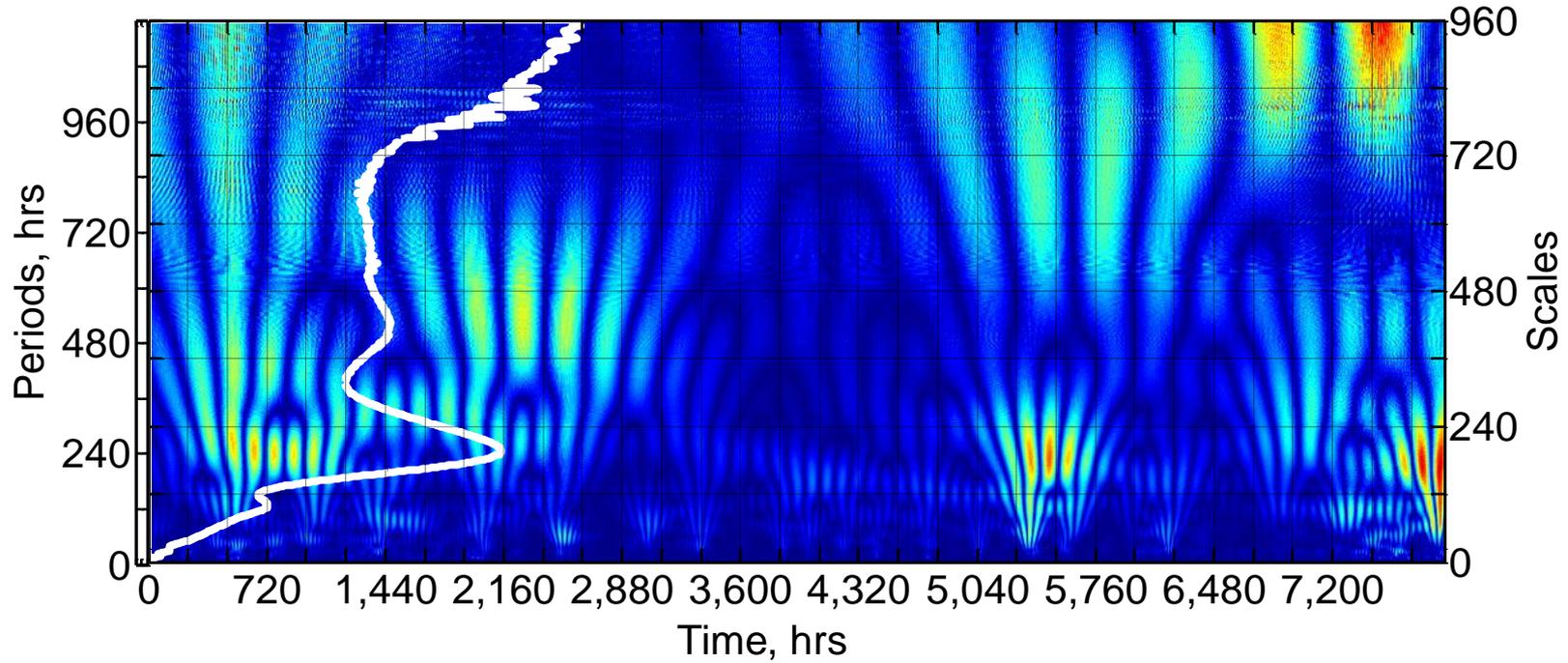
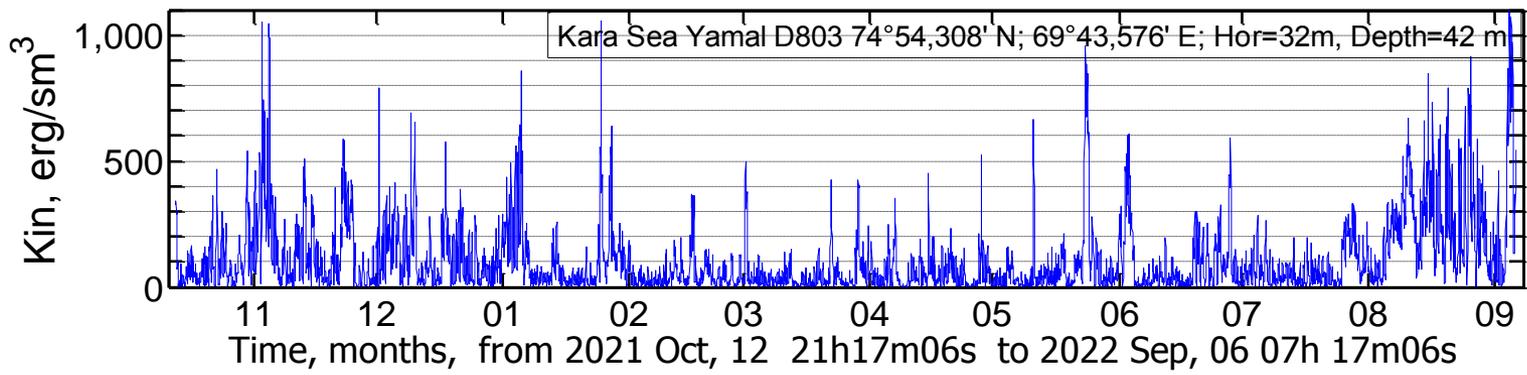
Продолжительность измерений 7945 час., 7946 значений через 1 час.



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

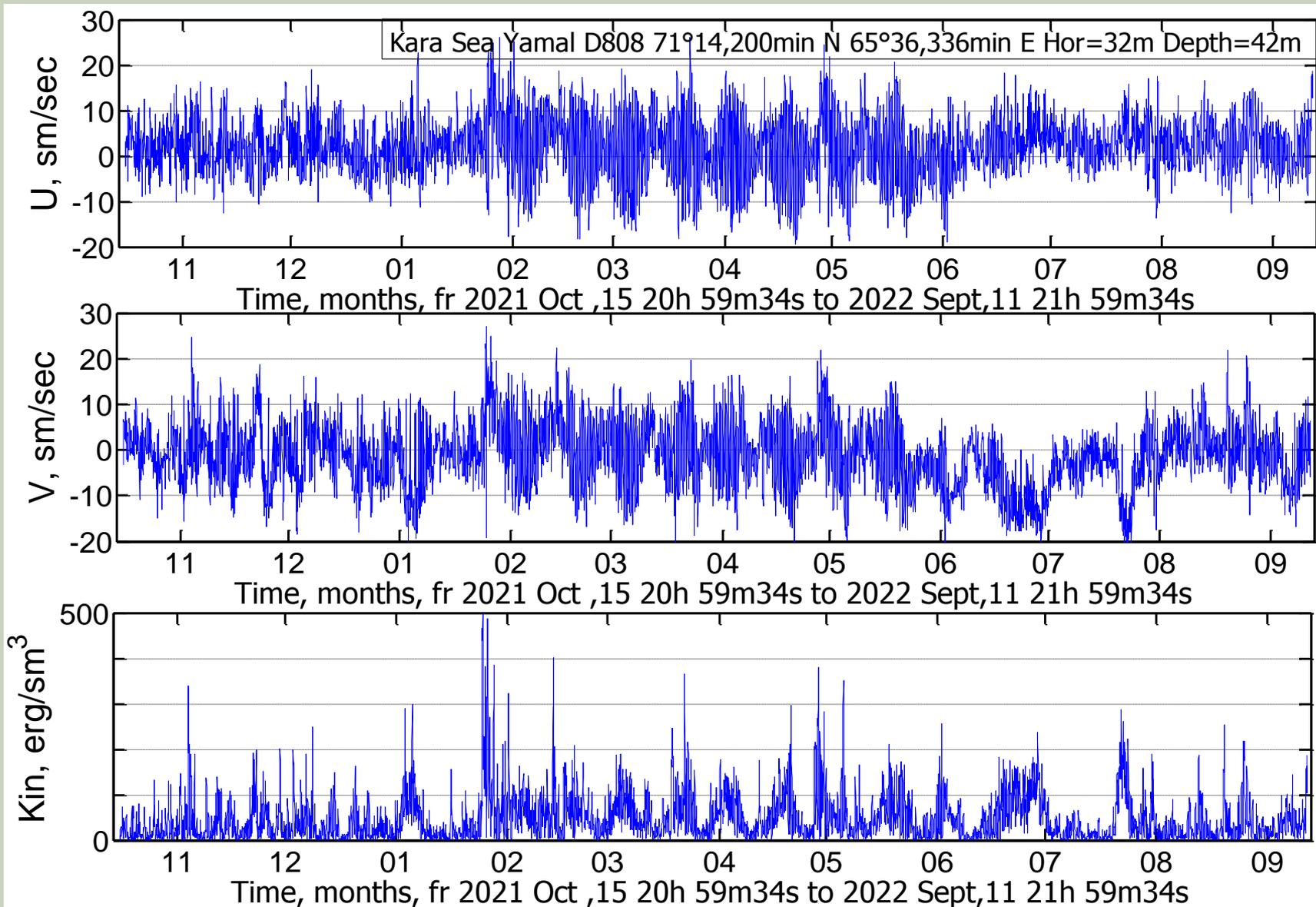


Спектральные плотности Фурье плотности кинетической энергии, - панель слева; спектр дисперсии плотности кинетической энергии (справа) на глубине 32 m (при глубине моря 42 m), на станции D803 в точке 71°14.200' N; 65°36.336' E (Карское море, Ямал). Светлая зелёная кривая - спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной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

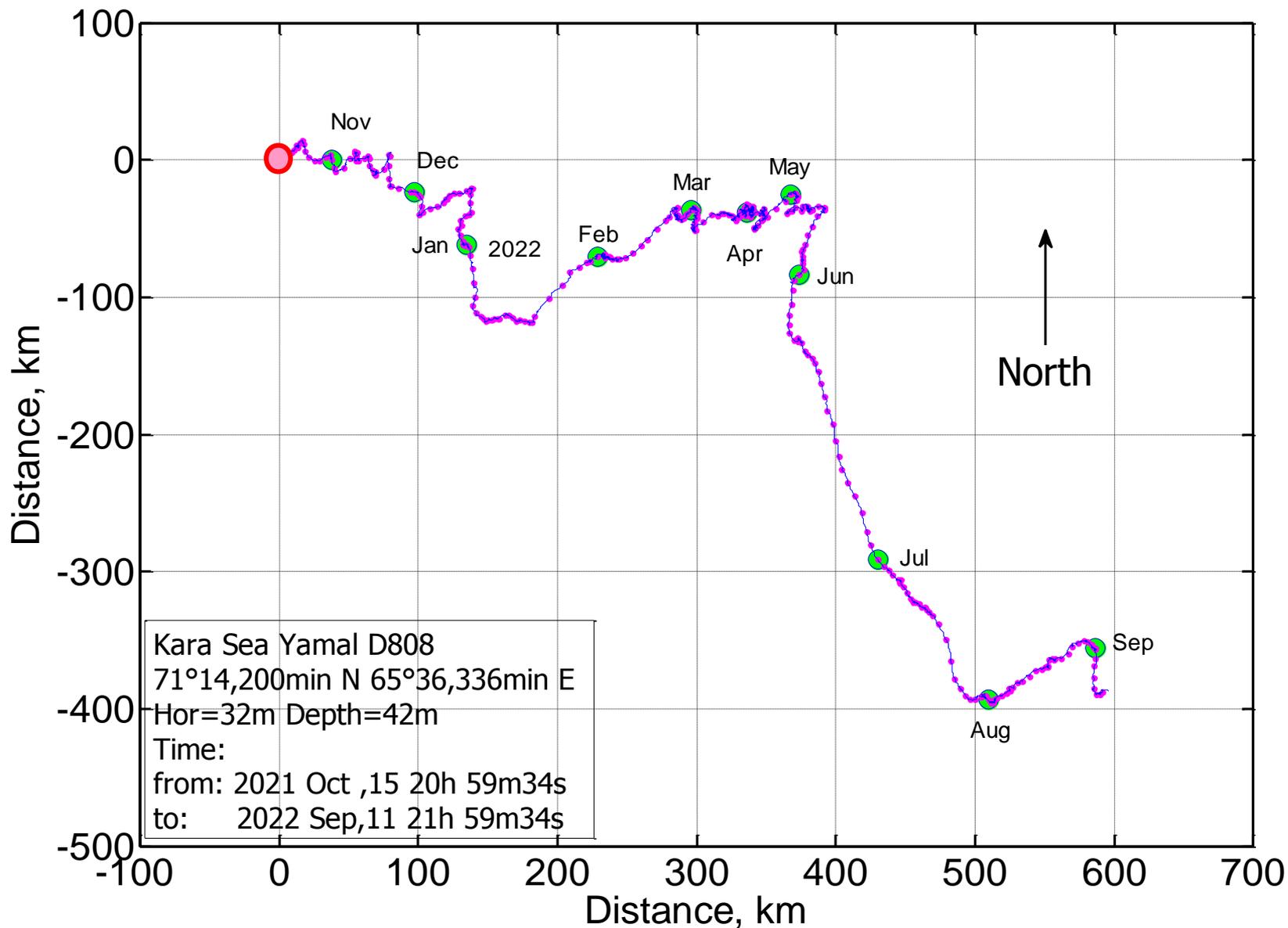


Ход плотности кинетической энергии воды  $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$  ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 1-1200 час. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Горизонт 32 м (при глубине моря 42 м), на станции 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.

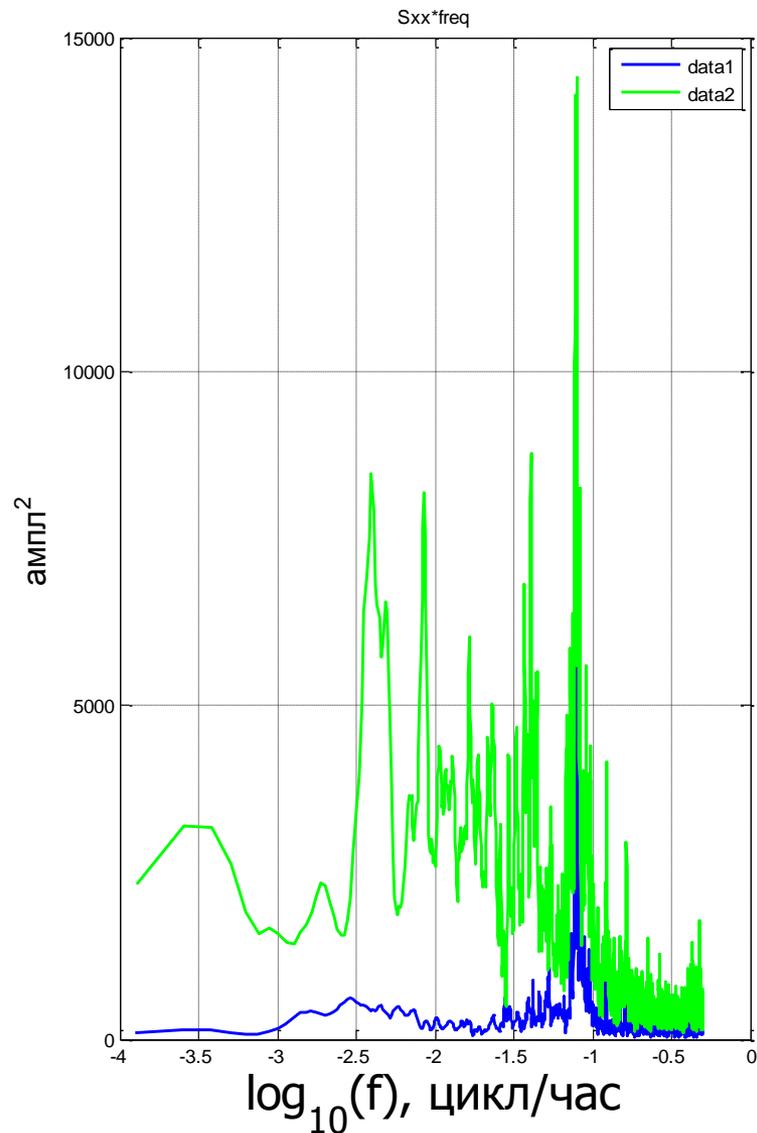
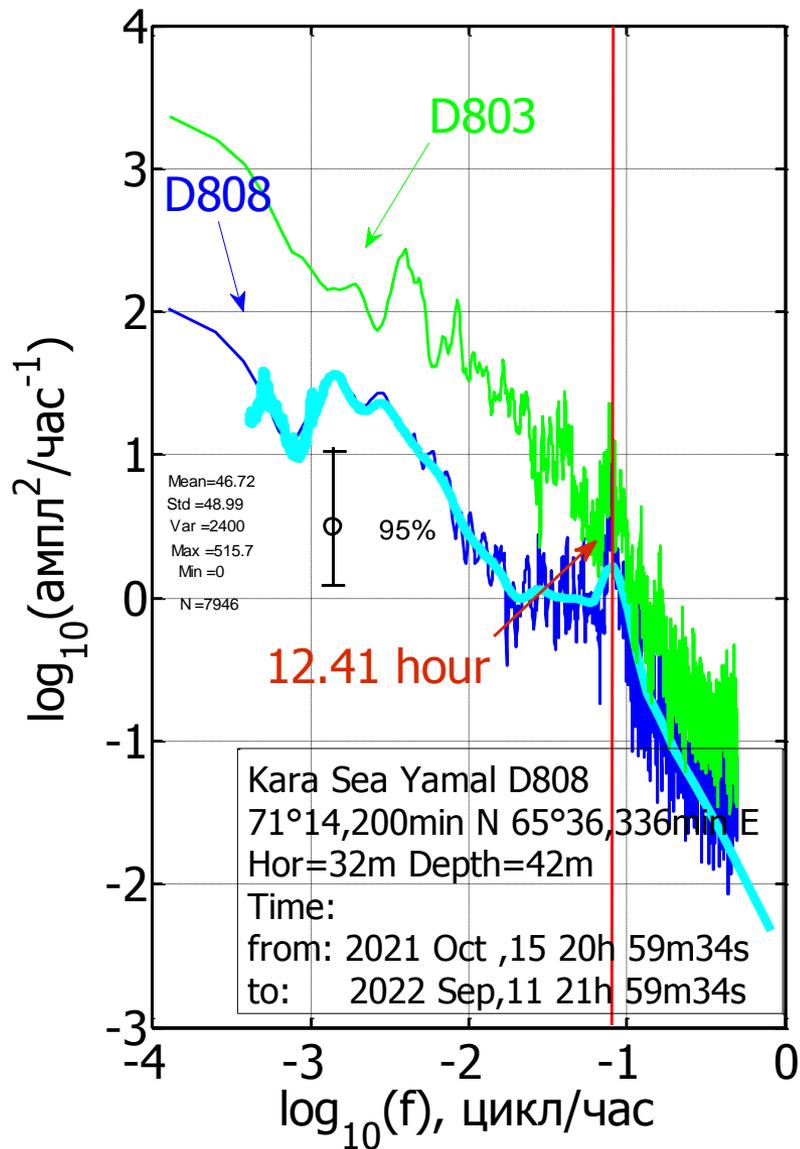
Измеритель D808



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  $74^\circ54.308' N$   $69^\circ43.576' E$  (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.

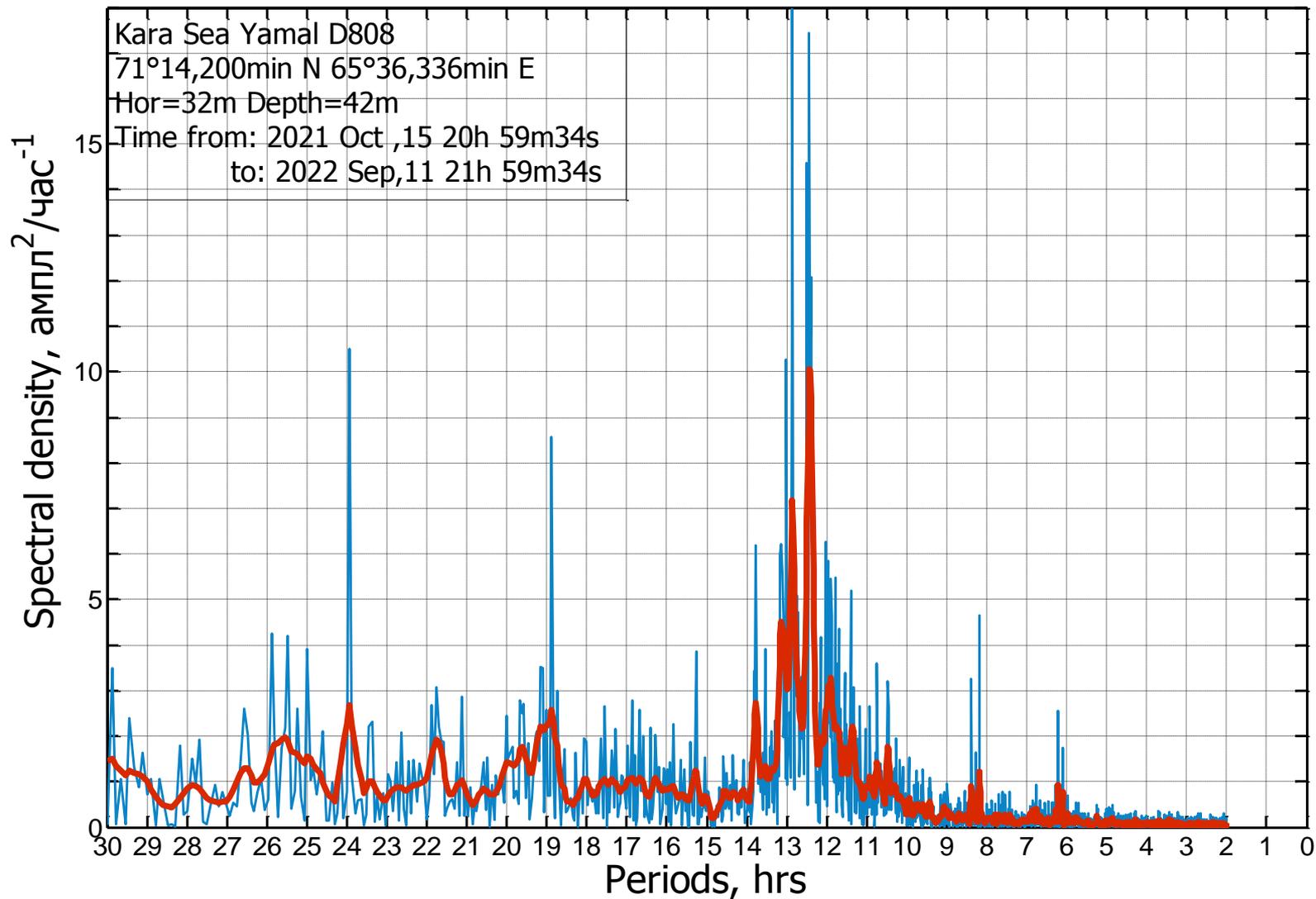


Прогрессивная векторная диаграмма скорости течений на глубине 32 м (при глубине моря 42 м), на станции D808 в точке 74°54.308 ' N 69°43.576 ' E (Карское море, Ямал).  
 Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h 59m34s.  
 Продолжительность измерений 7882 час., 7883 значений через 1 час.



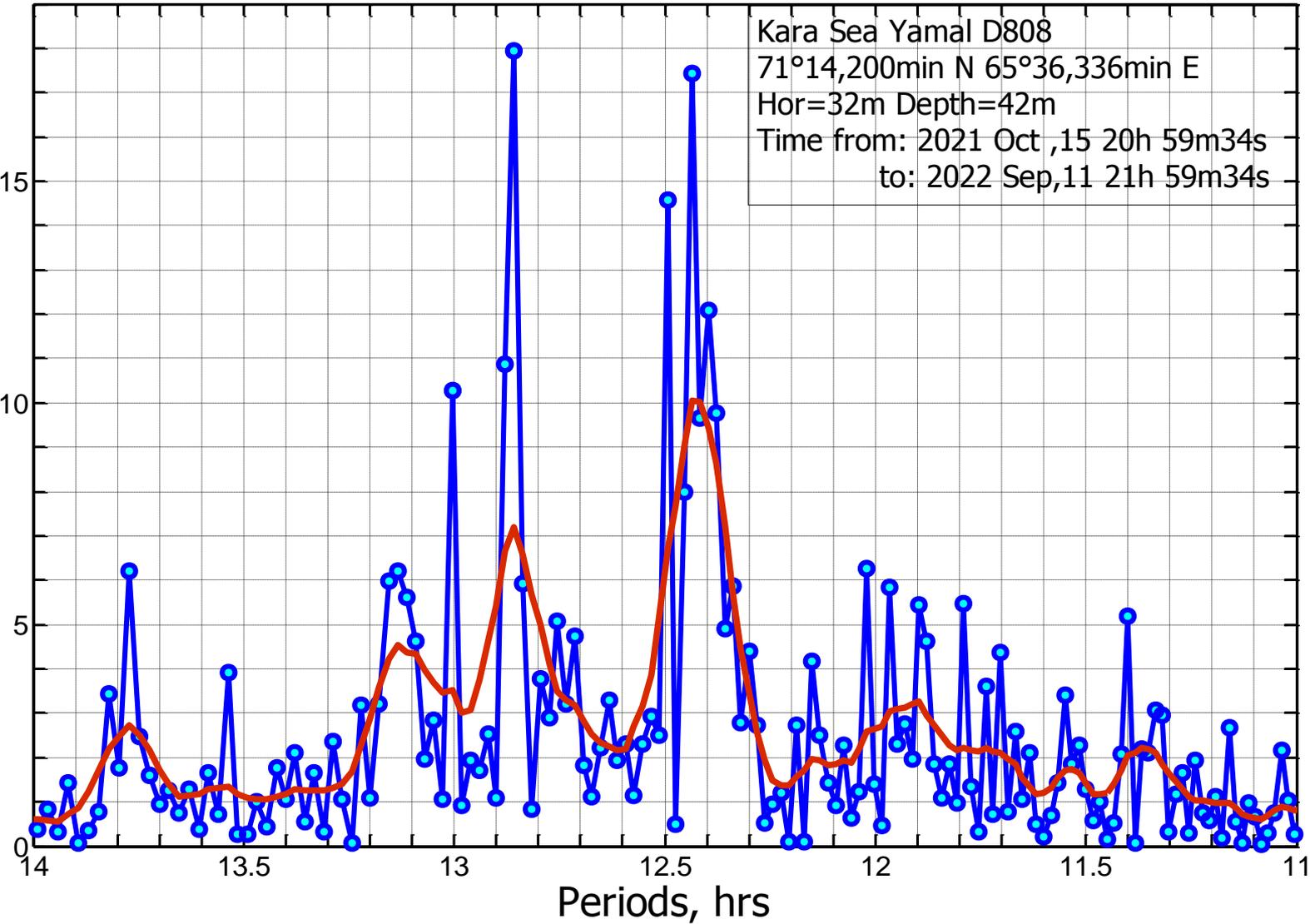
Спектральные плотности Фурье плотности кинетической энергии, - панель слева; спектр дисперсии плотности кинетической энергии (справа) на глубине 32 m (при глубине моря 42 m), на станции D808 в точке 74°54.308 ' N 69°43.576 ' E (Карское море, Ямал). Время: с 2021 Oct ,15 20h 59m34s по 2022 Sep,11 21h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

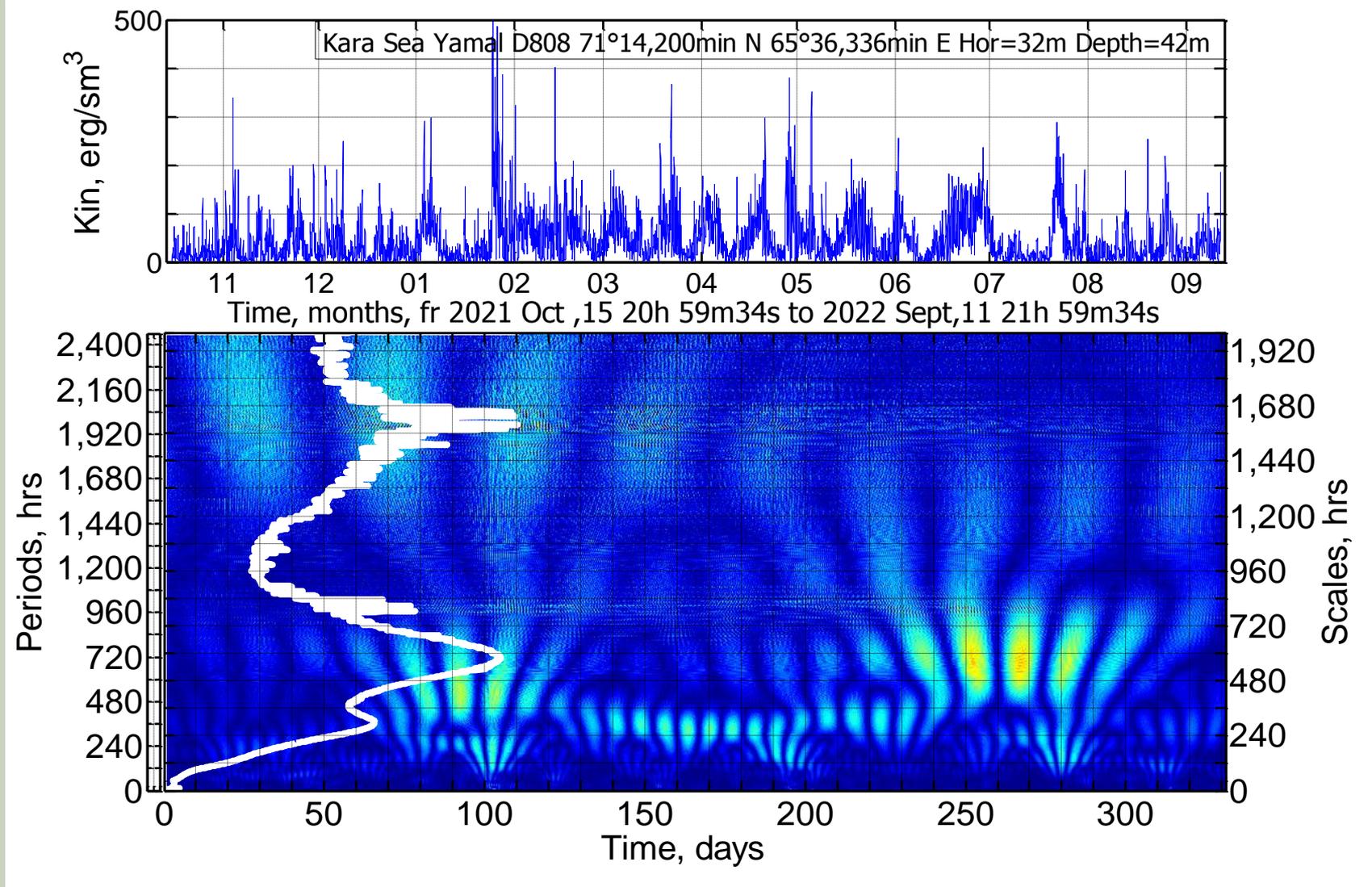
Kara Sea Yamal D808  
 71°14,200min N 65°36,336min E  
 Hor=32m Depth=42m  
 Time from: 2021 Oct ,15 20h 59m34s  
 to: 2022 Sep,11 21h 59m34s



1) D803  
 71°14,200 'N  
 ; 65°36,336  
 'E; 42 м.  
*Tinertial*  
 =12.6735 hrs

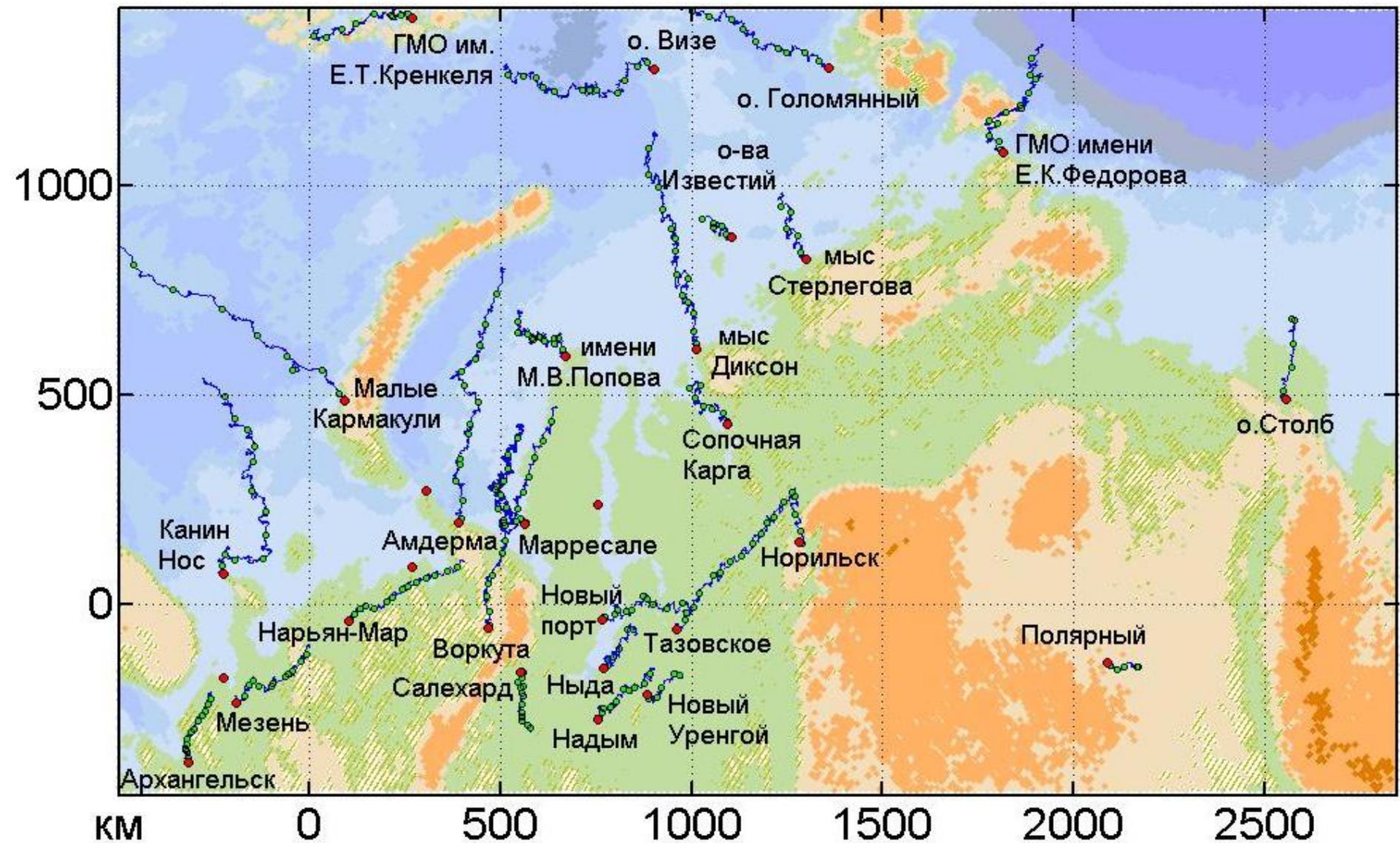
2) D808  
 74°54,308 'N  
 ; 69°43,576  
 'E; 42 м.  
*Tinertial*  
 =12.4288  
 hrs

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.

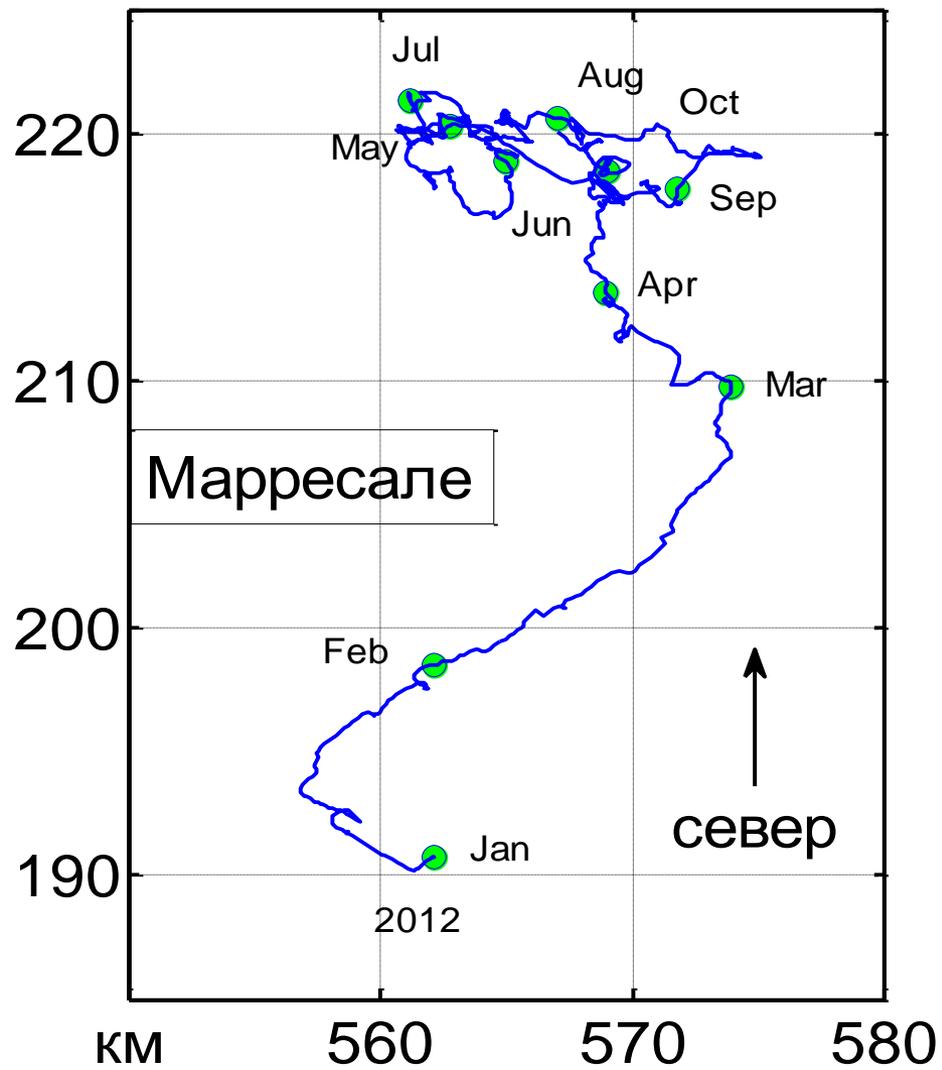
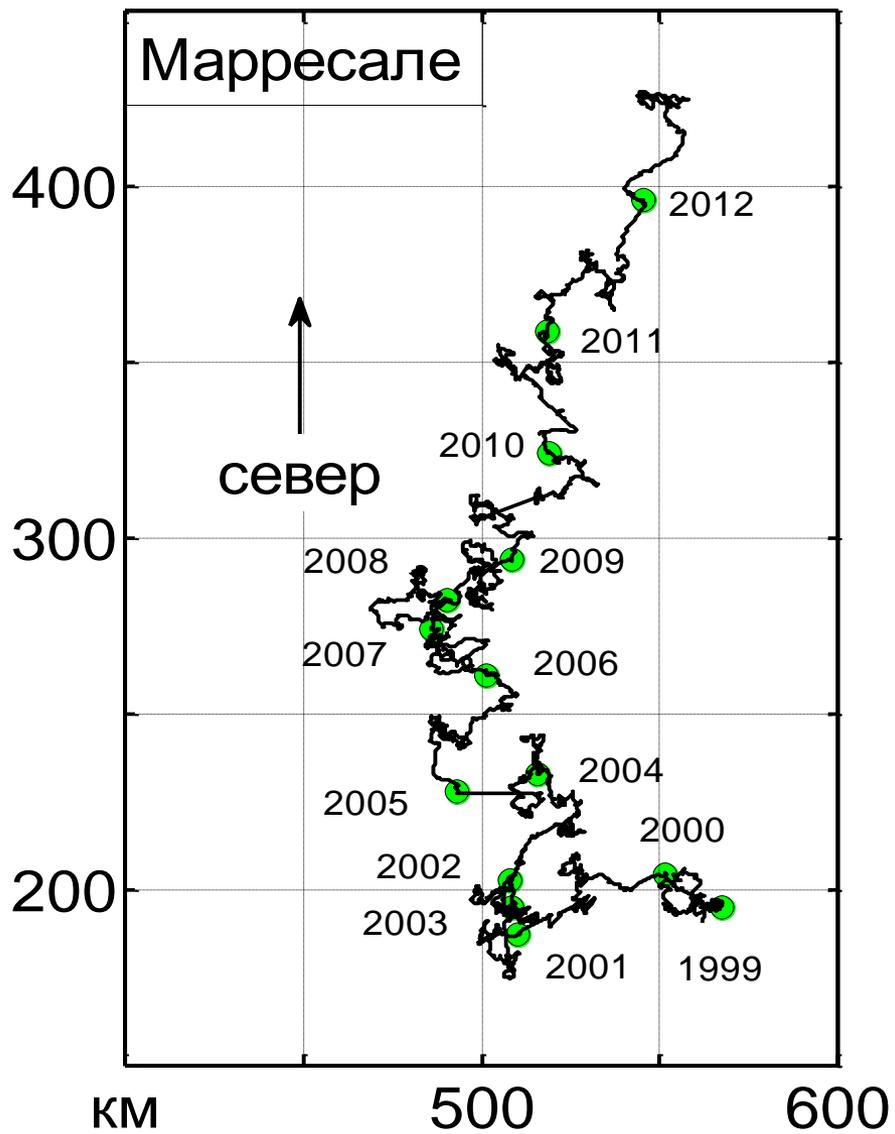


Ход плотности кинетической энергии воды  $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$  ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 0-100 сут. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Горизонт 32 м (при глубине моря 42 м), на станции 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.

Разномасштабный ветер и течения



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.)

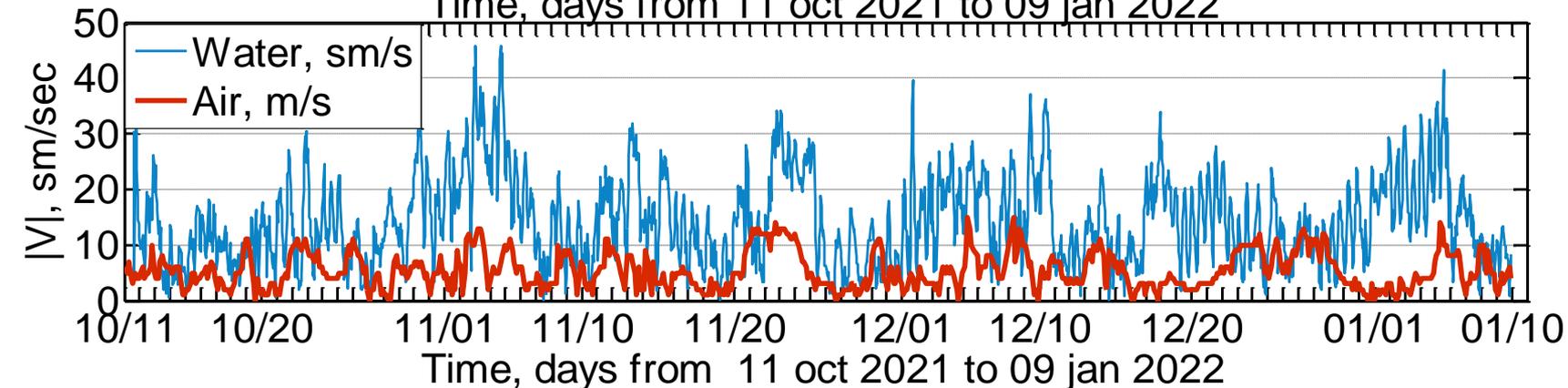
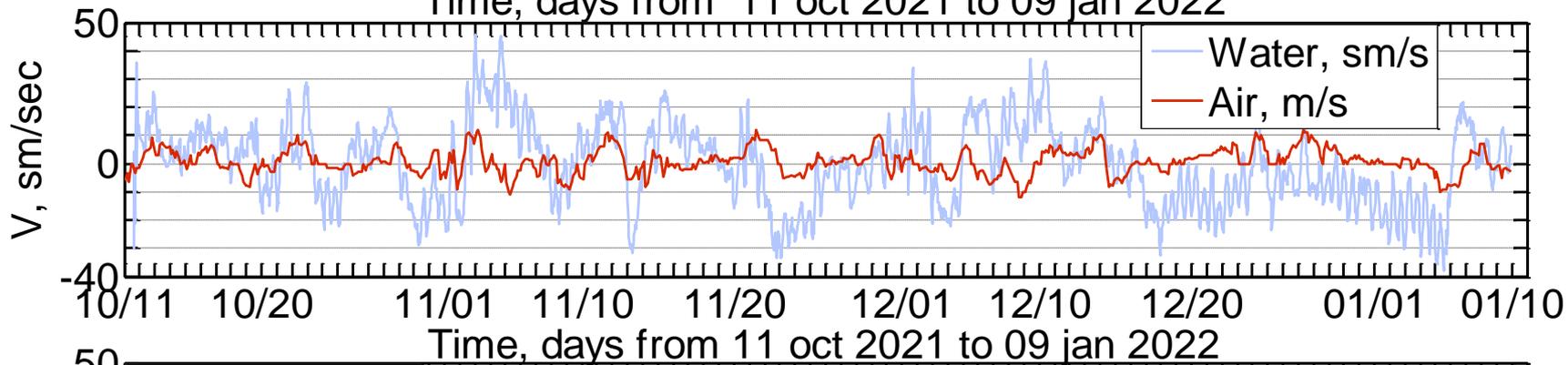
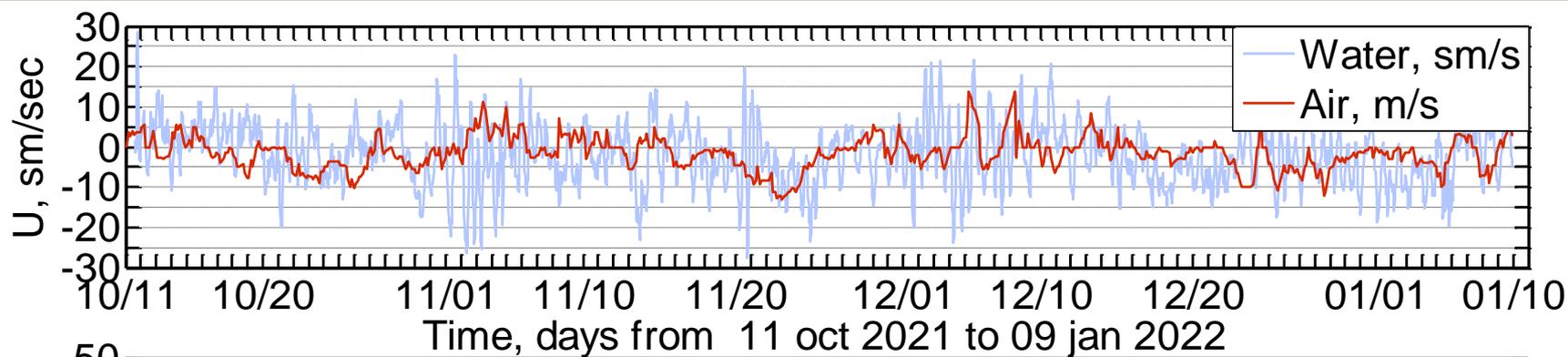
Точка расчета прогноза погоды в Сабетте (аэропорт):

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

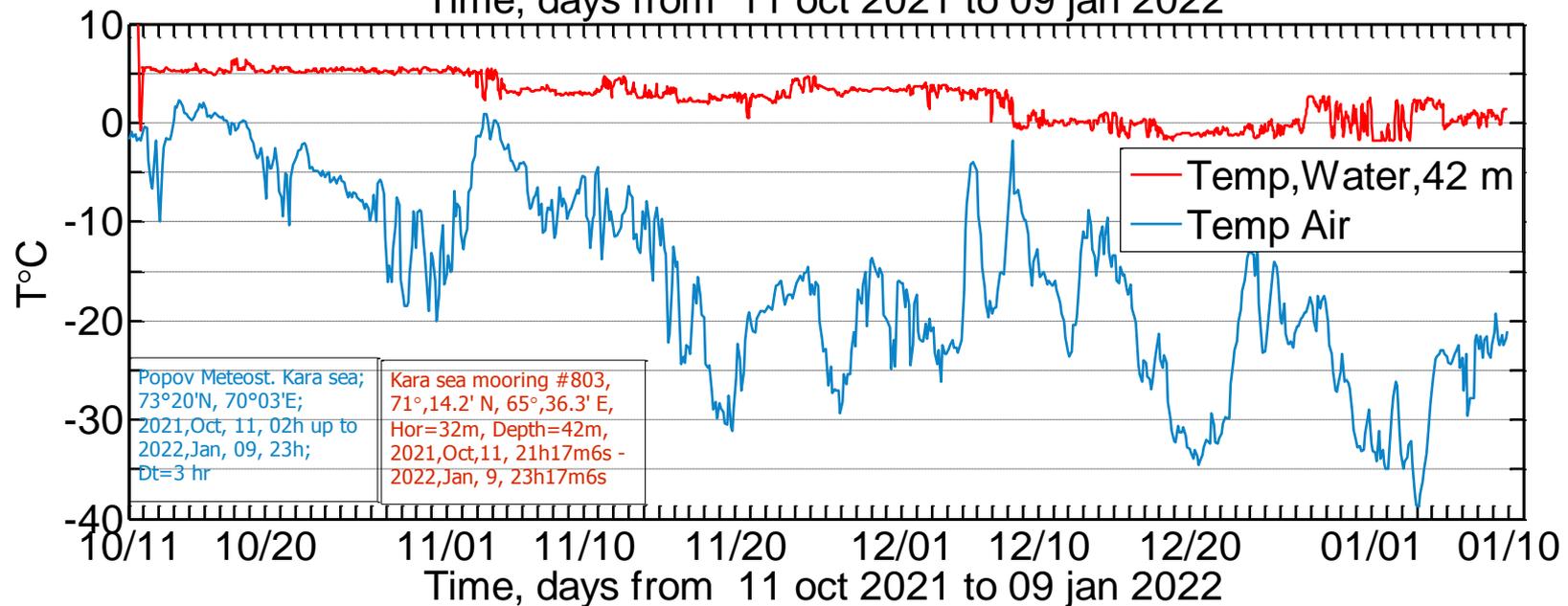
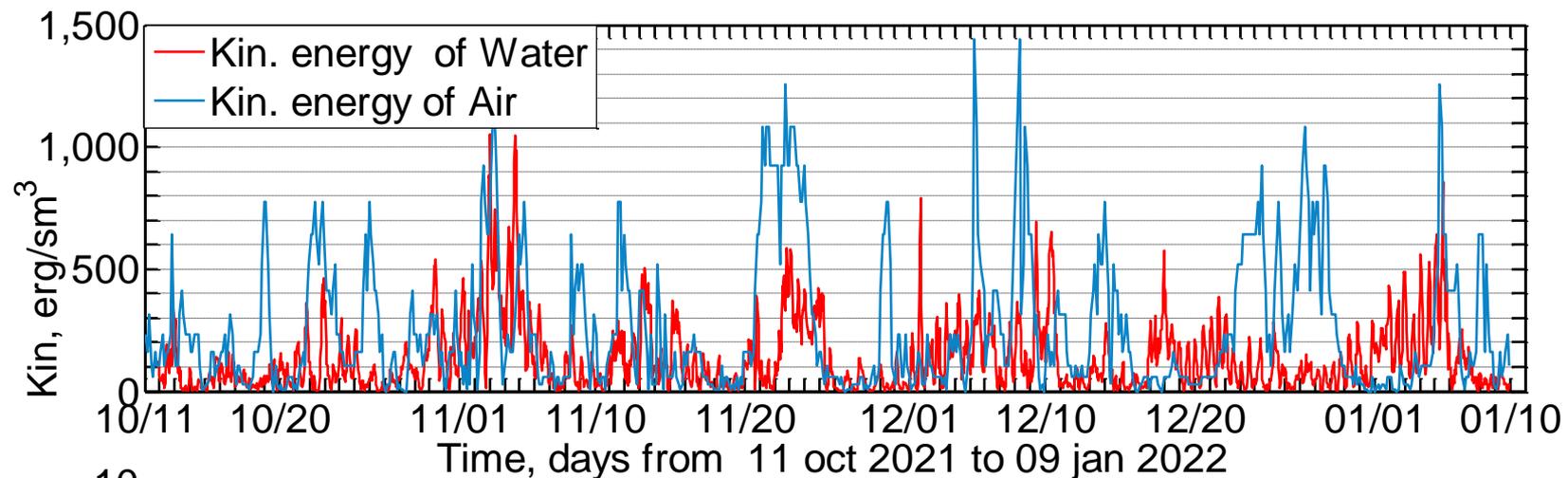
Точка расчета прогноза погоды на Мысе Харасавэй:

71° 06' с.ш., 66° 46' в.д.; 18 м

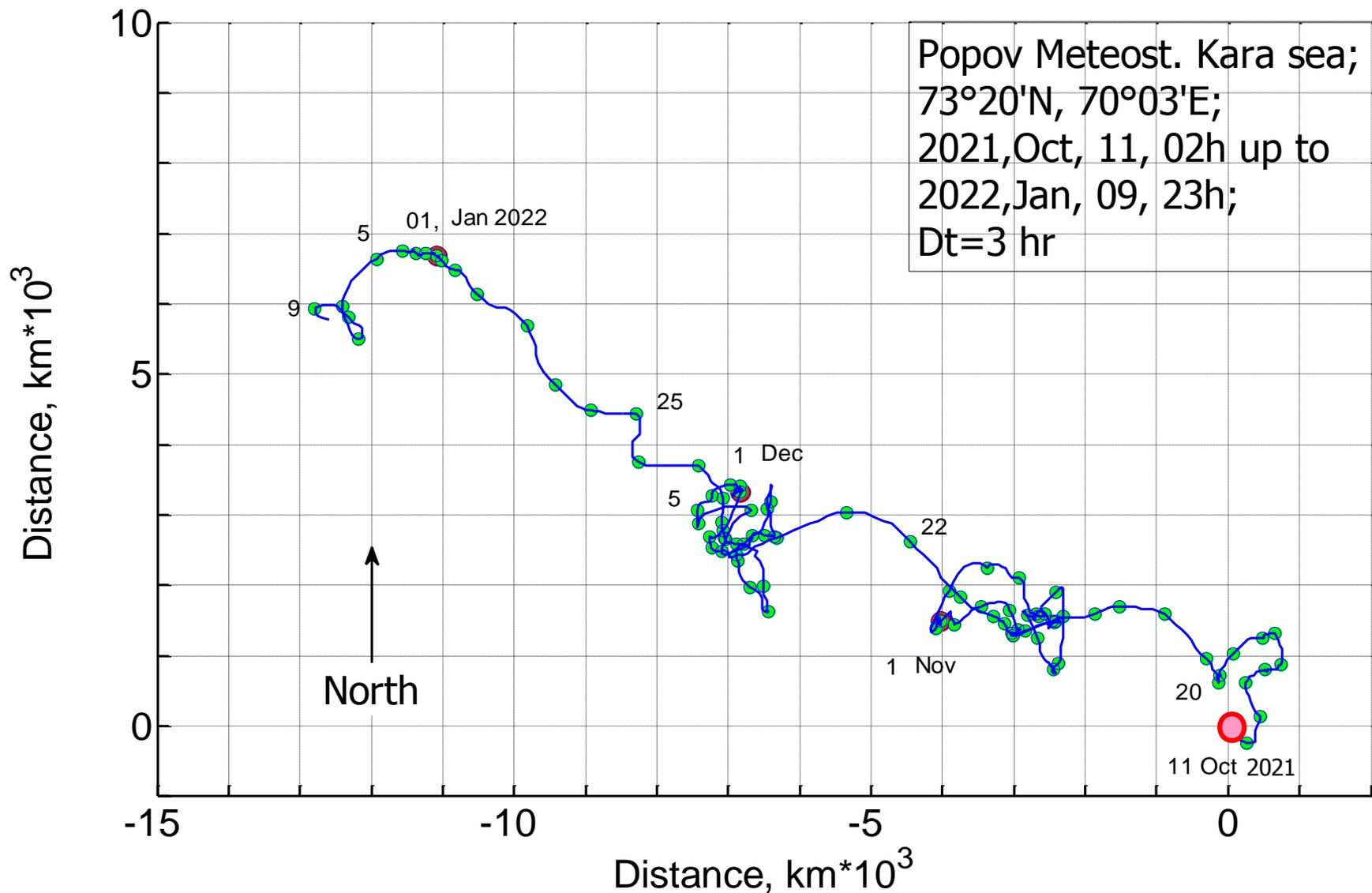
Сайт: [rp5.ru](http://rp5.ru)



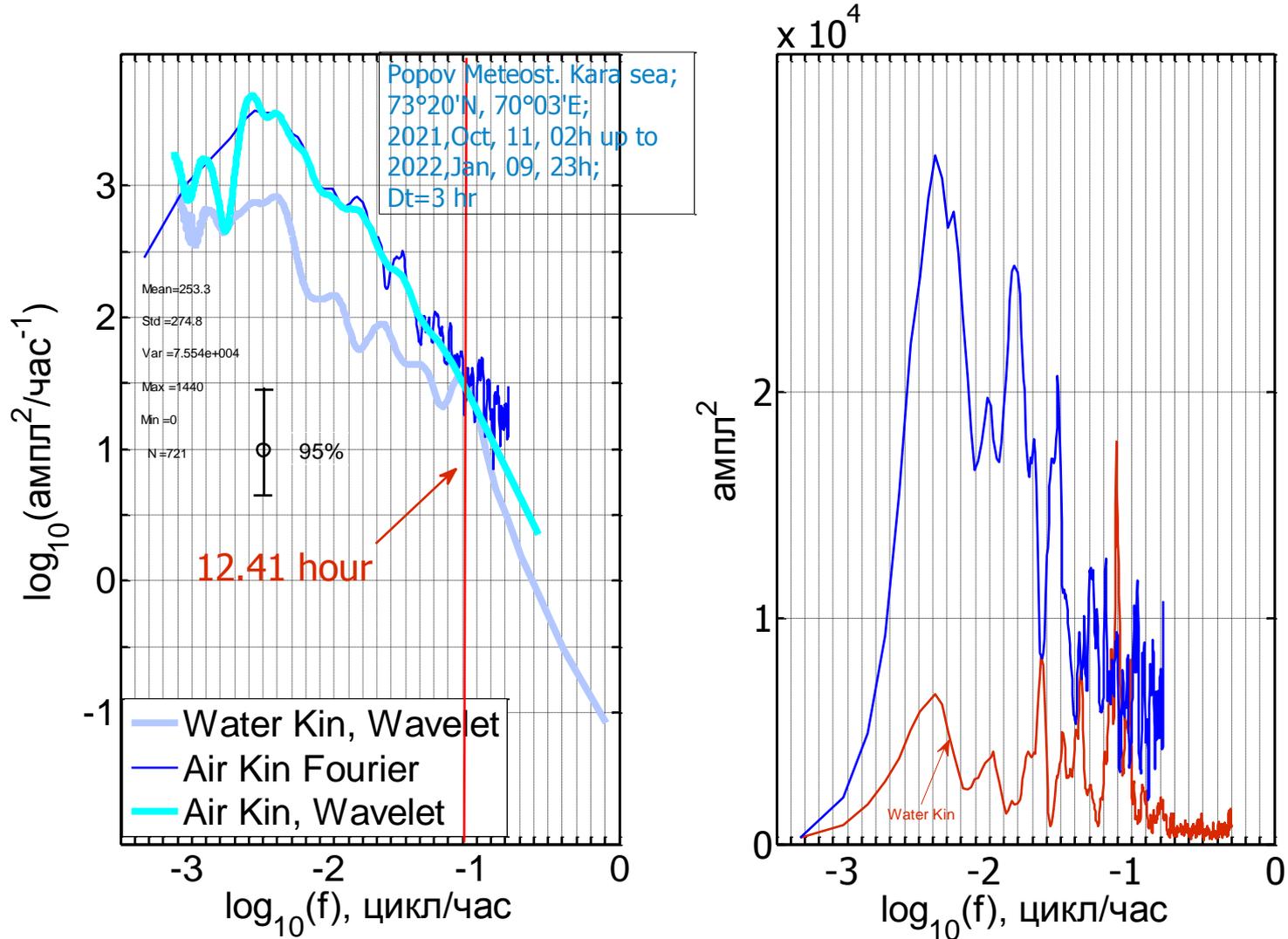
Декартовы компоненты горизонтальной скорости  $U, V$  ветров и модуль скорости ветра на метеостанции им. М.В.Попова ( $73^{\circ} 20'$  с.ш.,  $70^{\circ} 03'$  в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Светлые кривые- соответственные величины по измерениям в воде на глубине 32 м. Время: с 2021 окт,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



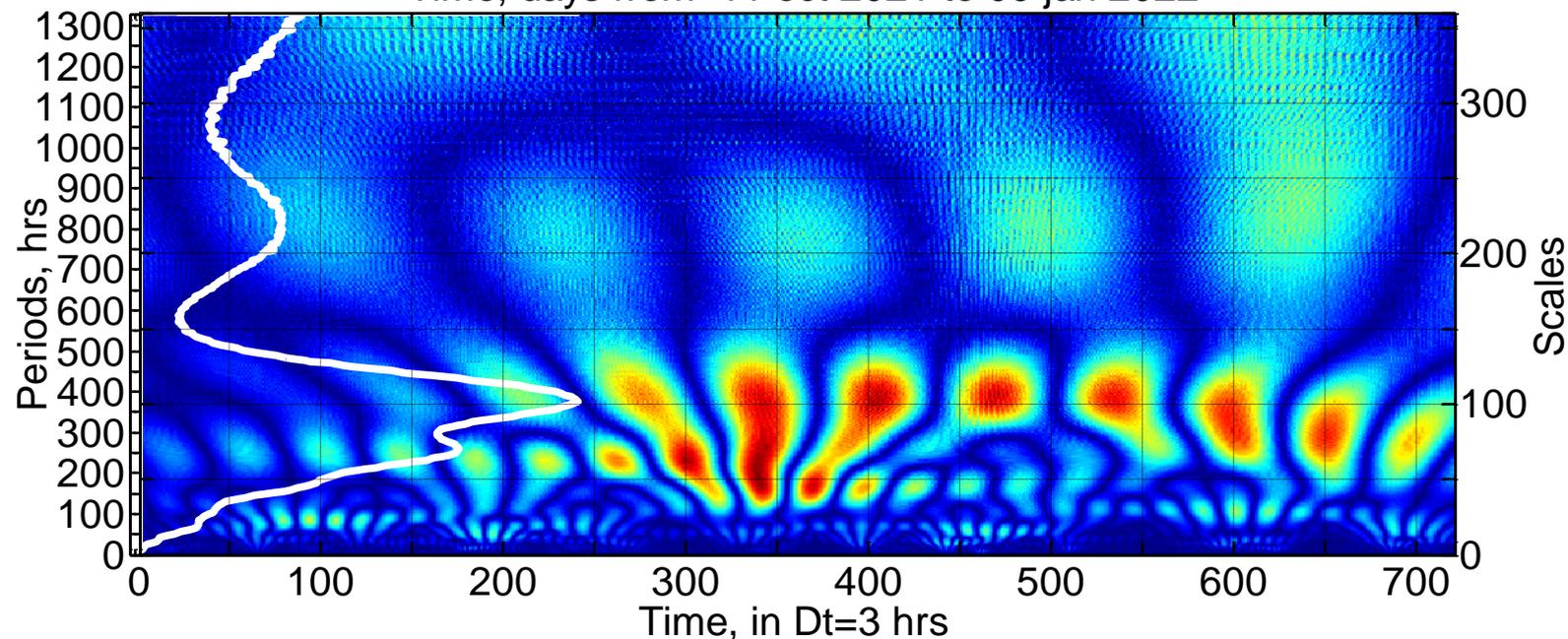
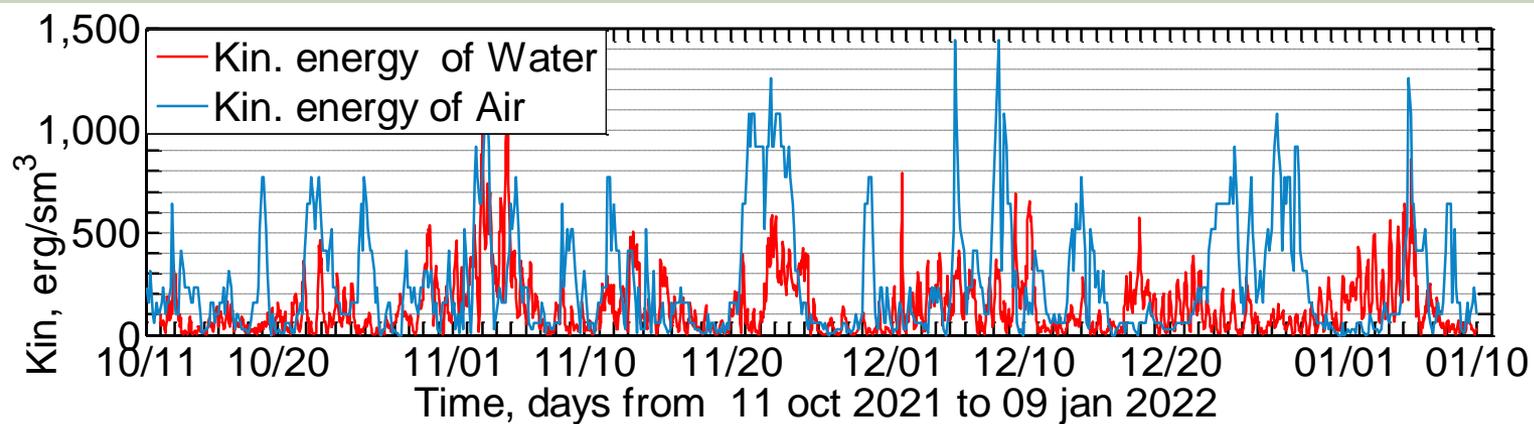
Плотность кинетической энергии воздуха  $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$  ( $\rho = 1.275 \text{ кг/м}^3$ ) и температура воды на метеостанции им. М.В. Попова (73° 20' с.ш., 70° 03' в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Наблюдения на буре обозначены красным цветом. Время: с 2021 окт, 11, 02 час. по 2022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



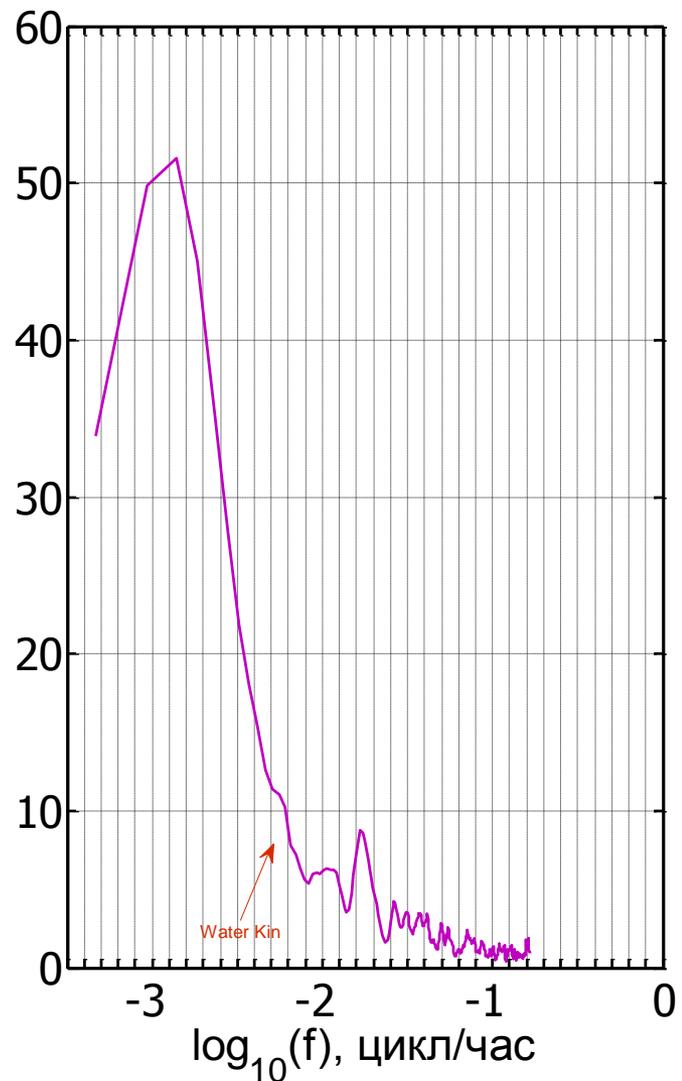
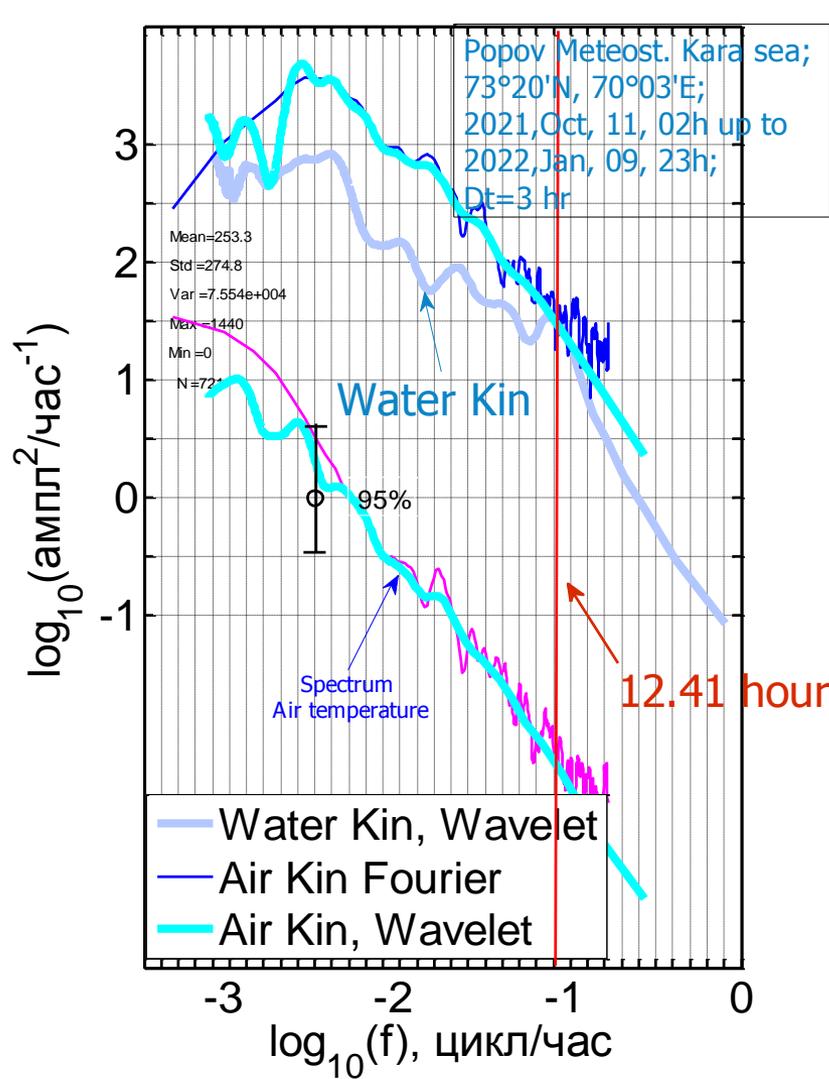
Прогрессивная векторная диаграмма скорости ветра на метеостанции им. М.В. Попова (73° 20' с.ш., 70° 03' в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Время: с 2021 окт., 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23 час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 час.



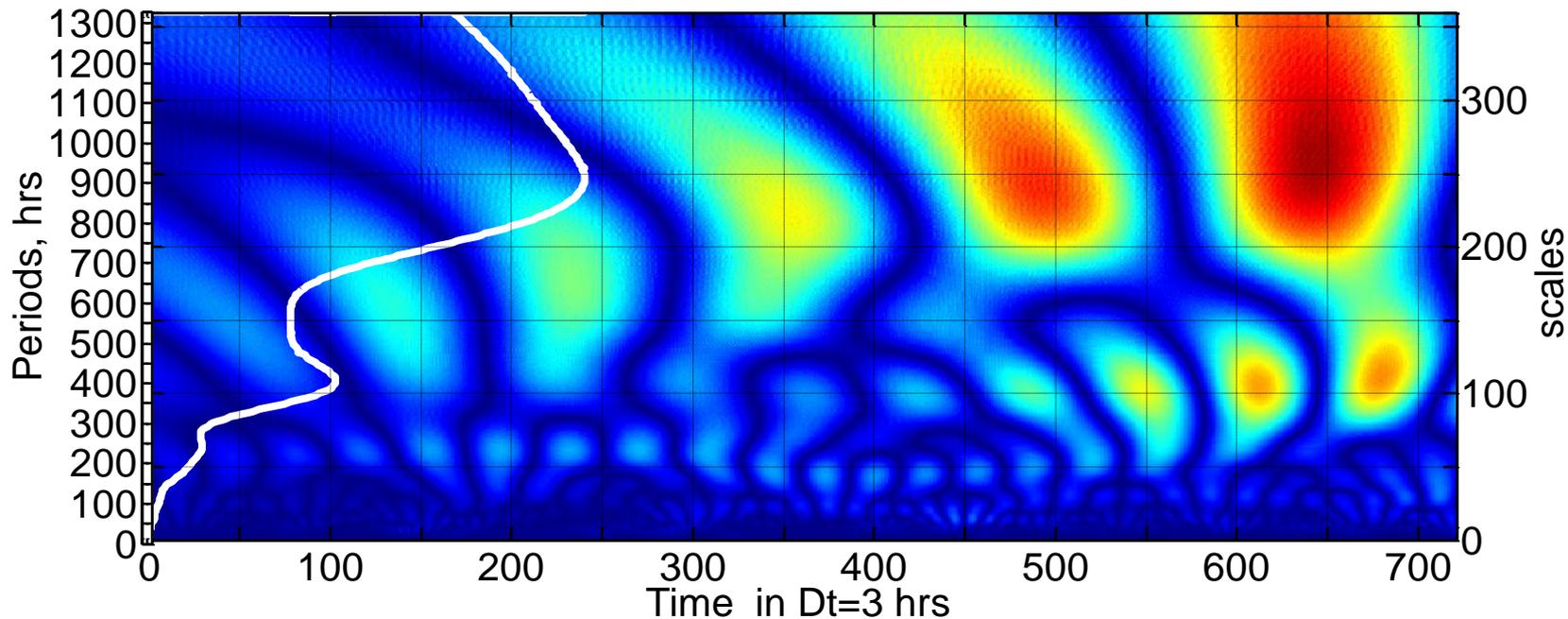
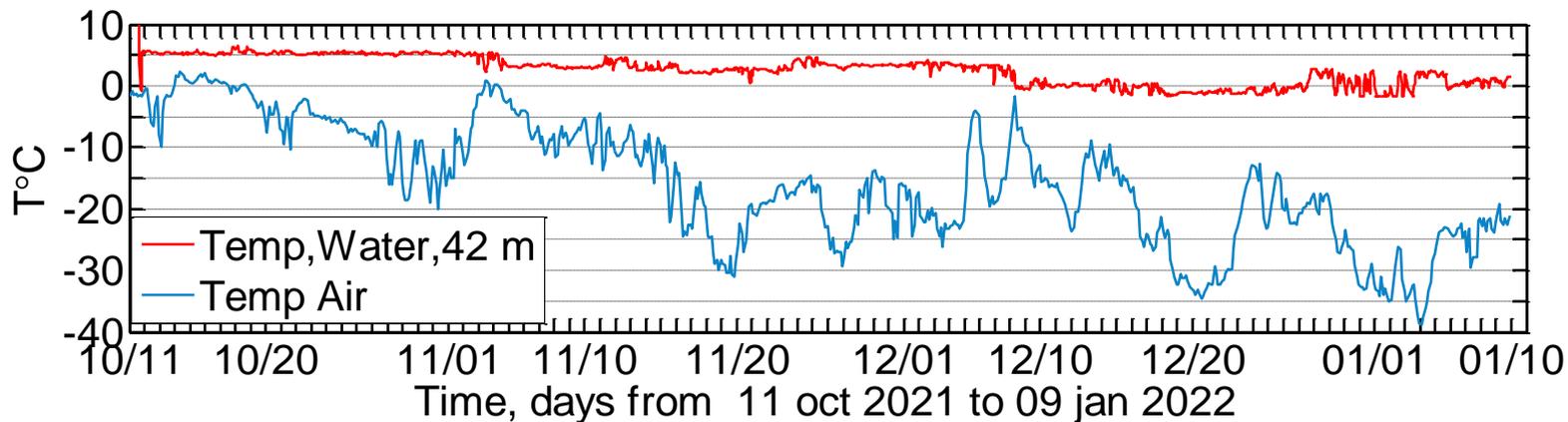
Спектральные плотности Фурье Кин. энергии - панель слева; спектр дисперсии Кин. энергии (справа) на метеостанции им. М.В. Попова (73° 20' с.ш., 70° 03' в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Светлая зелёная кривая - спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени. Можно сравнить с кин энергией 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.



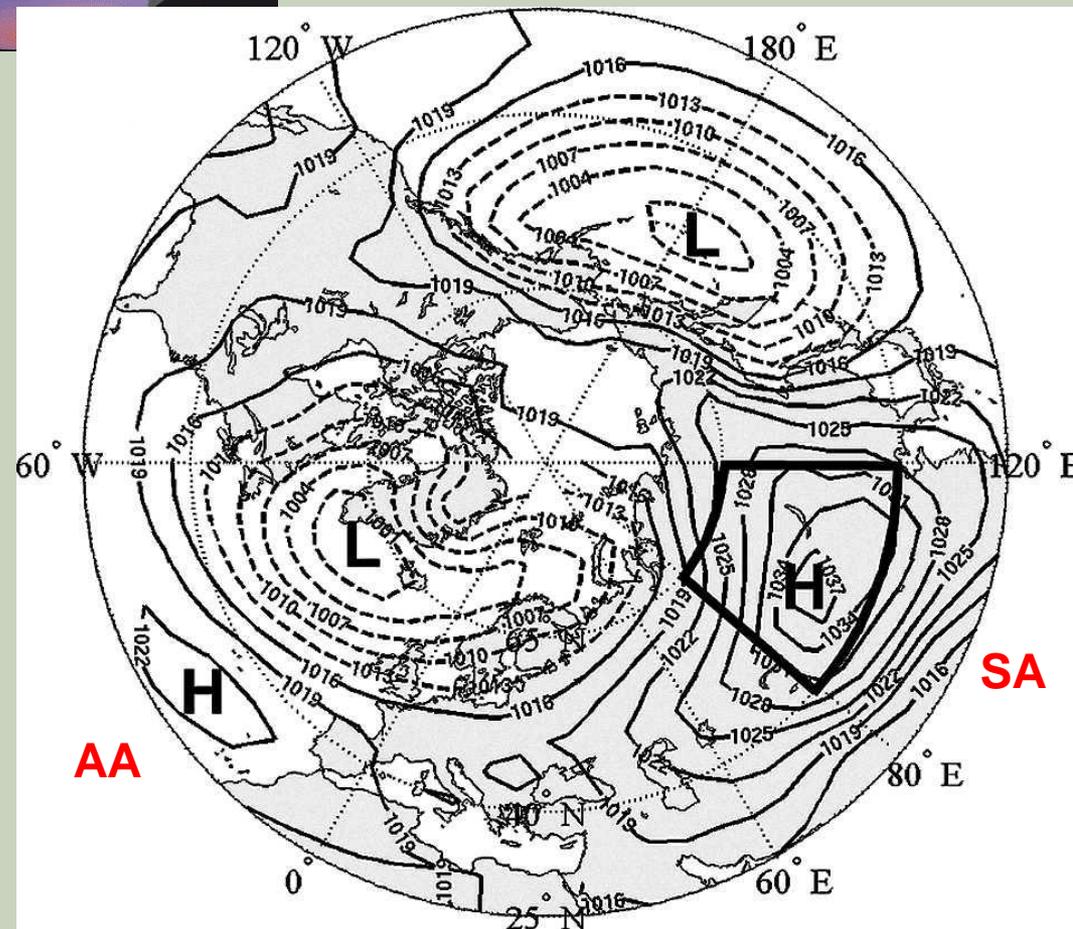
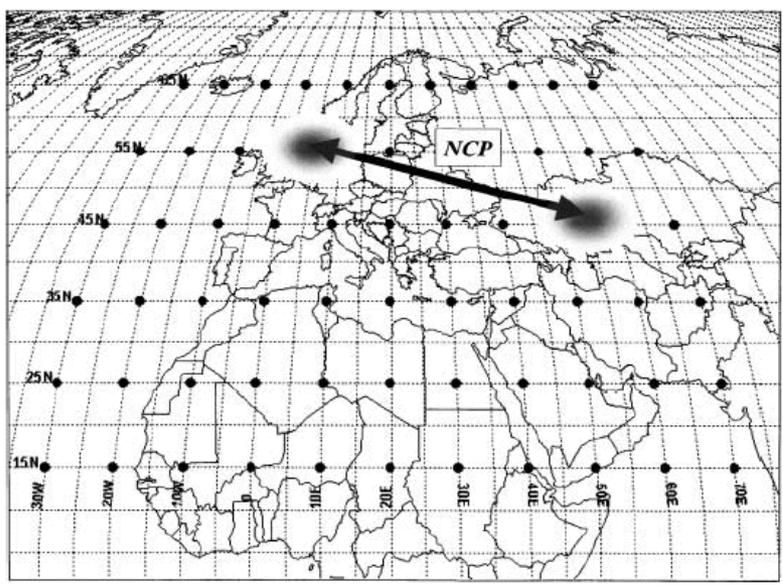
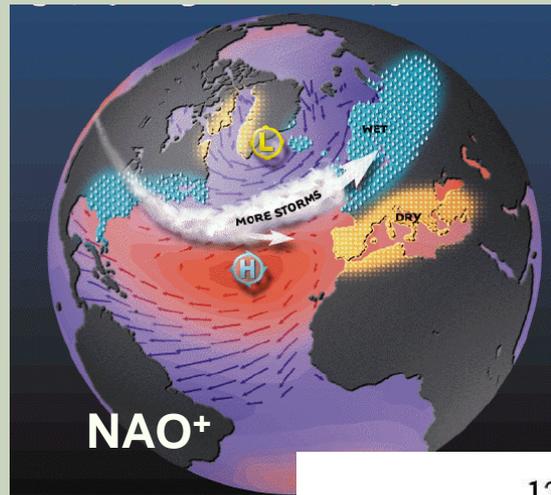
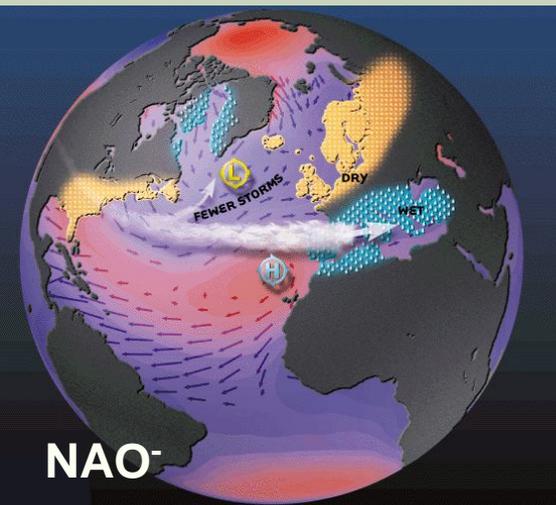
Ход плотности кинетической энергии воздуха  $Kin=0.5\rho(U^2+V^2)$  ( $\rho = 1.275 \text{ кг/м}^3$ ) (верхняя панель) и вэйвлет-плотность в диапазоне периодов 1-1300 час. (нижняя панель). Светлая линия - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Метеостанция им. М.В. Попова ( $73^\circ 20'$  с.ш.,  $70^\circ 03'$  в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Наблюдения на буре обозначены красным цветом. Время: с 2021 окт, 11, 02 час. по 2022 янв., 09, 23 час. Продолжительность измерений 2163 часа, 721 значений через 3 часа.



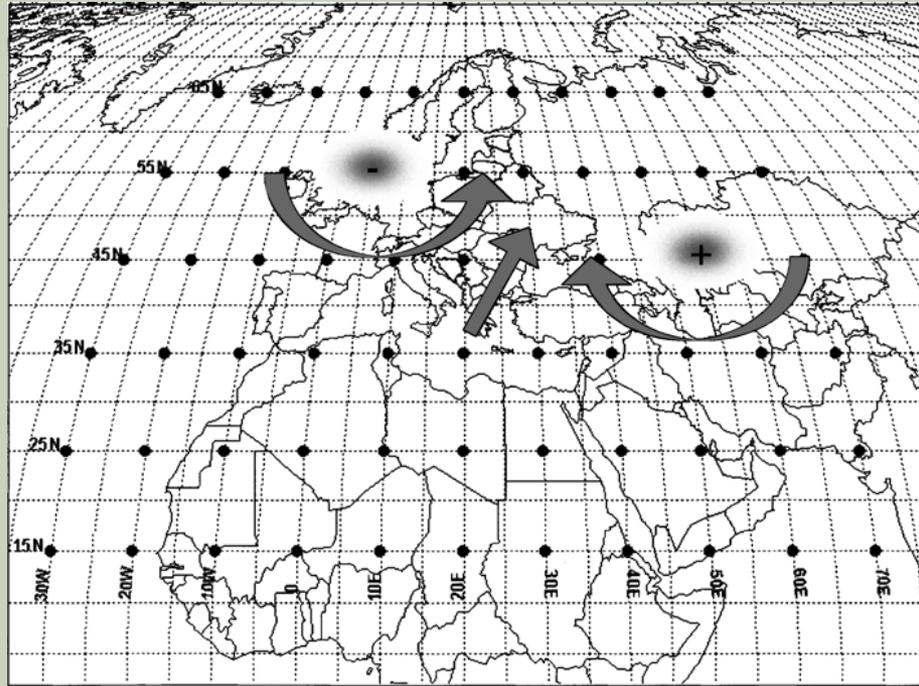
Спектральные плотности Фурье температуры воздуха - панель слева; спектр дисперсии температуры воздуха (справа) на метеостанции им. М.В. Попова (73° 20' с.ш., 70° 03' в.д., высота 6 м, о. Белый в Карском море). Светлая зелёная кривая - спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Можно сравнить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

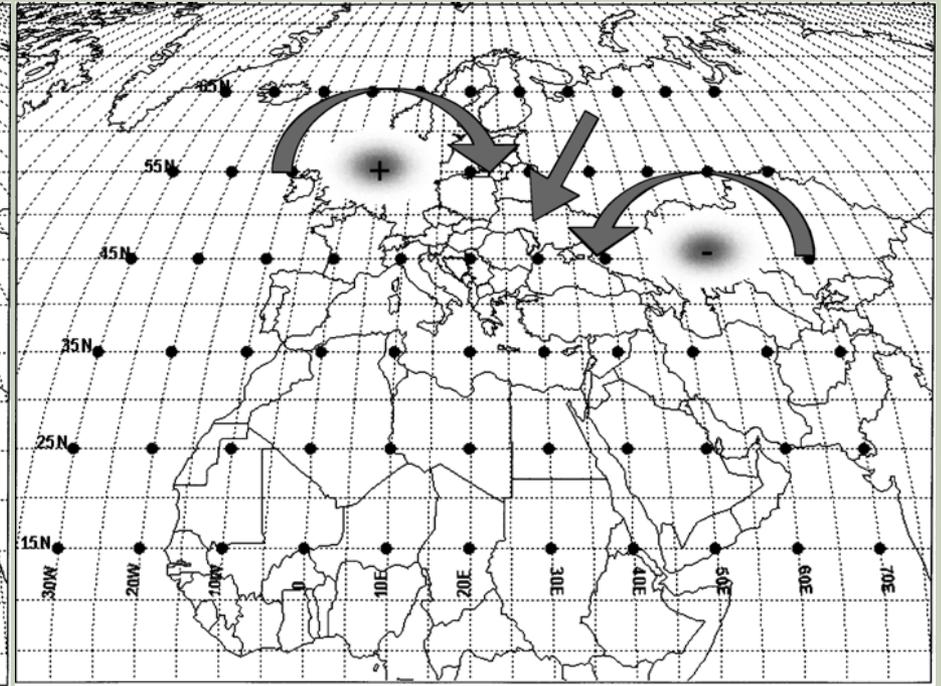


**NCP**



a

NCP-



b

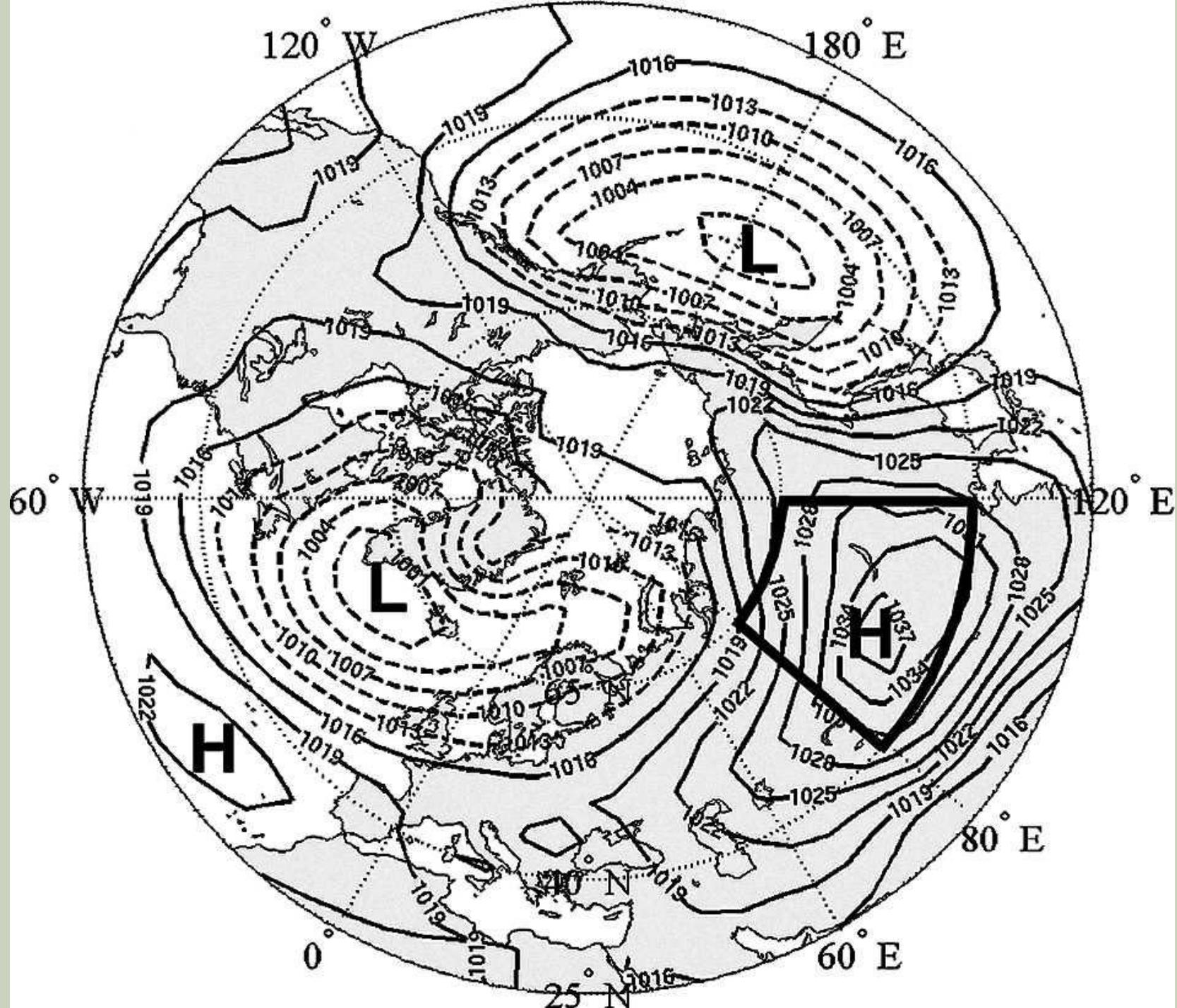
NCP+

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

From:

Kutieli, 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.





Конфигурация поля давления (на уровне моря) в зимний сезон (декабрь, январь, февраль), осредненного за период 1900-2001, с использованием 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. ( $40^{\circ}$ – $65^{\circ}$ N,  $80^{\circ}$ – $120^{\circ}$ E), [7].

**From:**

**FOTIS PANAGIOTOPOULOS 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.**

# Выводы

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 ассимиляции 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, проведен анализ масштабов пространственно-временной изменчивости наблюдаемых гидрометеорологических полей и получены новые данные о характере действующих физических механизмов развития разномасштабных гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Карского моря. Представляет интерес анализ приливных и инерционных колебаний в полярной области на примере Карского моря.
3. Обнаружено, что в ледовый период существуют циклы продолжительностью около 10 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.



Спасибо  
за внимание

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