

«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (МСОИ-2021)

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН

18-20 мая, 2021 г.

Изыскание индикатора отрыва паруса поверхностного дрейфера

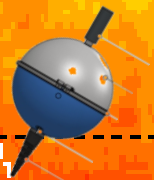
Мельников В.А.¹, Никитин О.П.²

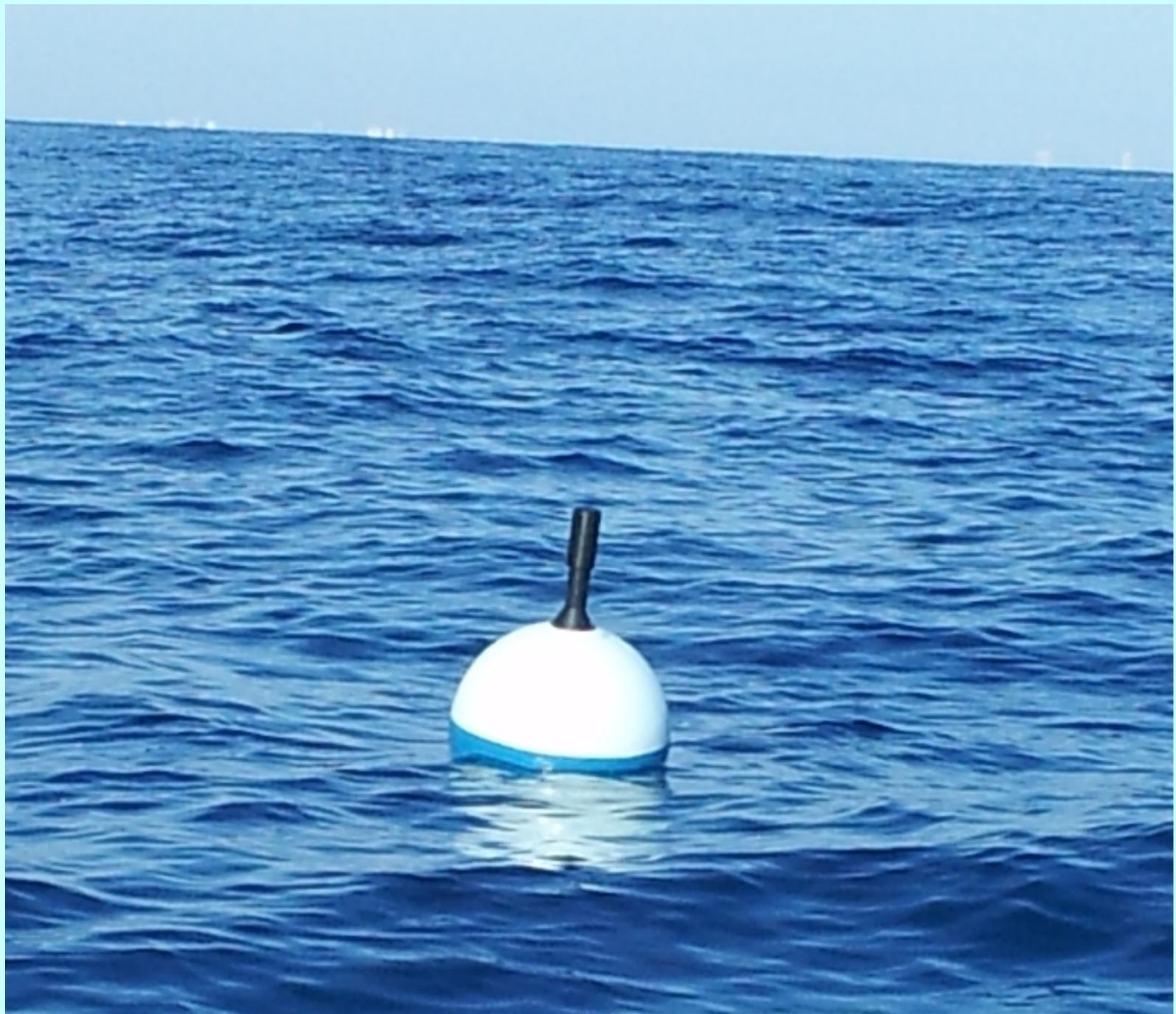
¹ *Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН*

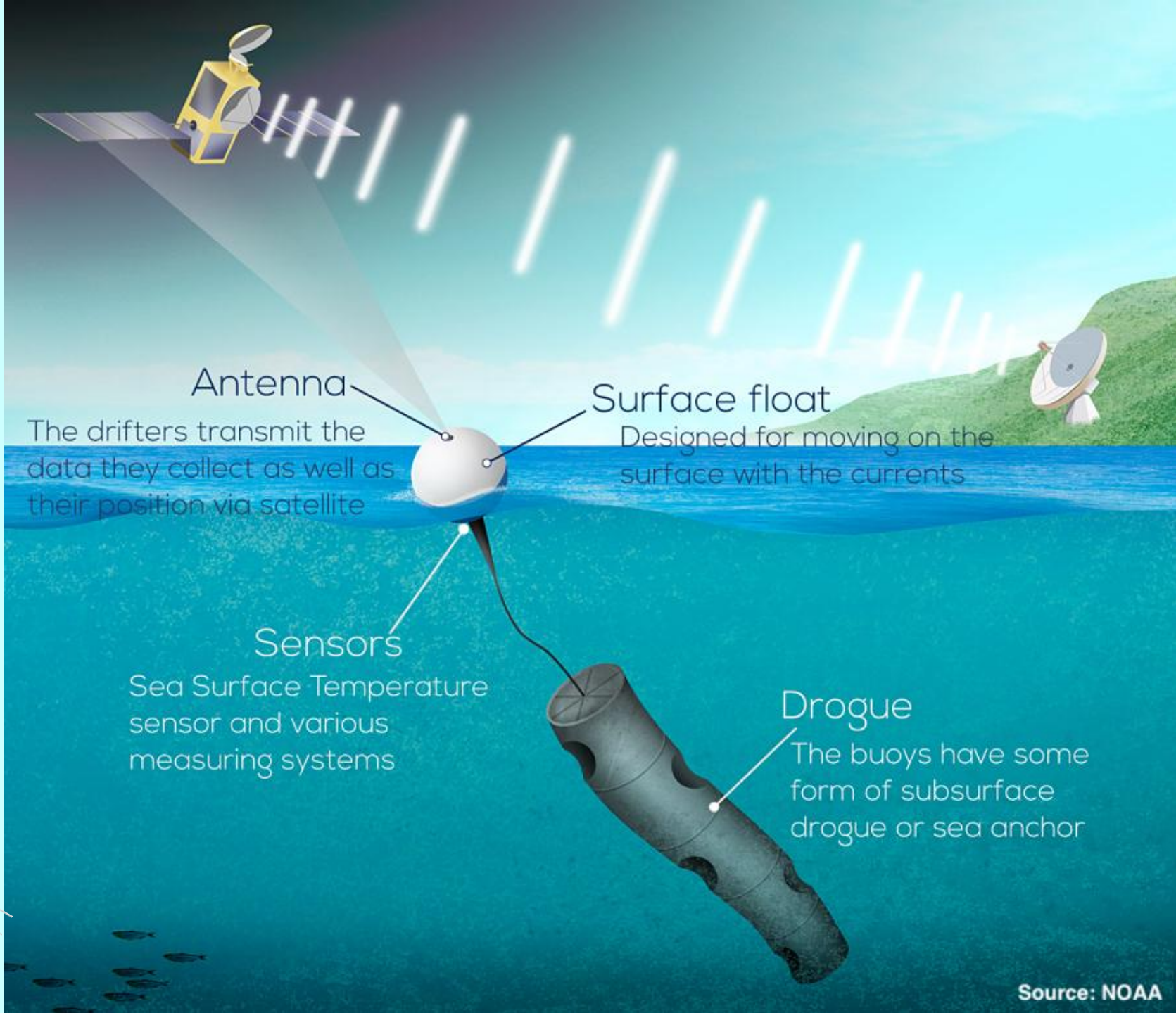
² *Государственный океанографический институт
имени Н.Н. Зубова, Росгидромет*

г Москва

20 мая, 2021 г.







Antenna

The drifters transmit the data they collect as well as their position via satellite

Surface float

Designed for moving on the surface with the currents

Sensors

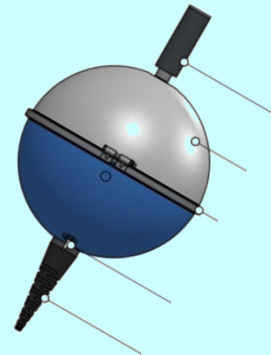
Sea Surface Temperature sensor and various measuring systems

Drogue

The buoys have some form of subsurface drogue or sea anchor

Стандартные дрейфтеры имеют поверхностный поплавков с датчиками и массивный подводный парус-якорь с центром на глубине 15 м, необходимый для минимизации ветрового воздействия на поплавков. Измерения скоростей и направлений течений при помощи дрейфтеров сопровождаются частыми (более, чем у половины дрейфтеров обрывами подводного паруса, происходящими под воздействием штормовых волн, сильного ветра и некоторых других факторов. В результате дрейфтер уже нельзя считать лагранжевым индикатором течения, отслеживающим его изменения. Имеющиеся на дрейфтерах датчики контроля паруса не всегда дают надежную, непротиворечивую информацию. Поэтому существует проблема определения момента отрыва паруса на основе полученных данных. По траектории поплавка, без привлечения дополнительной информации, определить событие потери паруса достаточно затруднительно, т.к. ветер и течения воздействуют на дрейфтер на близких частотах.

Первым полностью развернутым в 2005 г. компонентом Глобальной системы наблюдений за Мировым океаном является Глобальная дрейфтерная программа [1]. В рамках этой программы постоянно поддерживается глобальная сеть из не менее, чем 1450 лагранжевых (свободно дрейфующих вместе с течениями) поверхностных океанографических буев - дрейфтеров, отслеживаемых со спутников. Дрейфтеры предоставляют ценную информацию о реальных поверхностных течениях Мирового океана.



Цель работы

В настоящей работе исследовался набор траекторий дрейфтеров в Баренцевом море с использованием методов спектрального и вэйвлет анализов с целью установления индикатора потери паруса .

Для определения момента потери паруса, следуя некоторым предыдущим разработкам, был проведён анализ ряда траекторий дрейфтеров, у которых дата и время отрыва паруса были известны *a priori*

Мотивация

В рамках темы Росгидромета «Характеристика особенностей и изменчивости поверхностных течений и температуры воды в Баренцевом и Карском морях на основе обработки и анализа современных данных отслеживаемых со спутников дрейфующих океанографических буев – дрейфтеров»), исследовались траектории поплавков ARGO(s) с использованием методов спектрального и вэйвлет анализов с целью определения индикатора потери паруса.

При обработке обширного массива траекторий дрейфтеров часто возникают вопросы о надёжности данных. Во время дрейфа подводный парус нередко отрывается (у свыше 50% дрейфтеров). Задача состоит в разработке методики по идентификации дрейфтеров, у которых произошёл отрыв подводного паруса. Для определения момента потери паруса, следуя некоторым предыдущим техническим разработкам, например [Haza A.C., et al., 2018], проведён анализ пробных траекторий поплавков ARGO(s), у которых время отрыва паруса было известно *a priori*. Было установлено, что отрыв паруса не проявляется на траекториях, скоростях и ускорениях поплавок, в силу разнообразия условий в океане. Однако, как ожидается, искомый момент будет обнаруживаться по изменению спектрального состава спектральной и вэйвлет плотности ускорений поплавков, по данным траекторий с минимальной дискретностью.

Вторым направлением решения рассматриваемой задачи может быть анализ корреляций между смещениями поплавок и флуктуациями силы локального ветра, по данным измерений в рамках специализированного эксперимента.

Vallès I., Pelegri J. L., Salvador J., Font J., Roget E. Detection of drogue loss events from drifter positioning data // Conference IV Encuentro Oceanografía Física Española (EOF 2016). July 2016. pp. 138-140

This paper describes methods to detect drogue loss based on two properties that distinguish drogued from undrogued drifters. First, undrogued drifters often flip over, pointing their satellite antenna downward and thus intermittently reducing the frequency of GPS fixes. Second, undrogued drifters respond to wind forcing more than drogue drifters. The resulting data was used to assess the proposed methodology.

Методы обработки

Рутинная обработка данных измерений включала в себя подготовку траекторий дрейфтеров (Global Drifter Program), расчёт статистических характеристик измеренных и производных параметров с использованием традиционного спектрального анализа Фурье и вэйвлет–диаграмм.

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: $\hat{V}_m = [2/(N\delta t)] \sum \delta t V_k(t) \exp(-i2\pi mk/(N\delta t))$ - 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 , $i=0, 2, \dots, N-1$, 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; η - масштаб временного вэйвлет-окна; n - индекс момента времени. Среди некоторого класса подходящих функций можно выбрать удобный вэйвлет Морле:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i2\pi f_0 \eta} e^{-\eta^2/2},$$

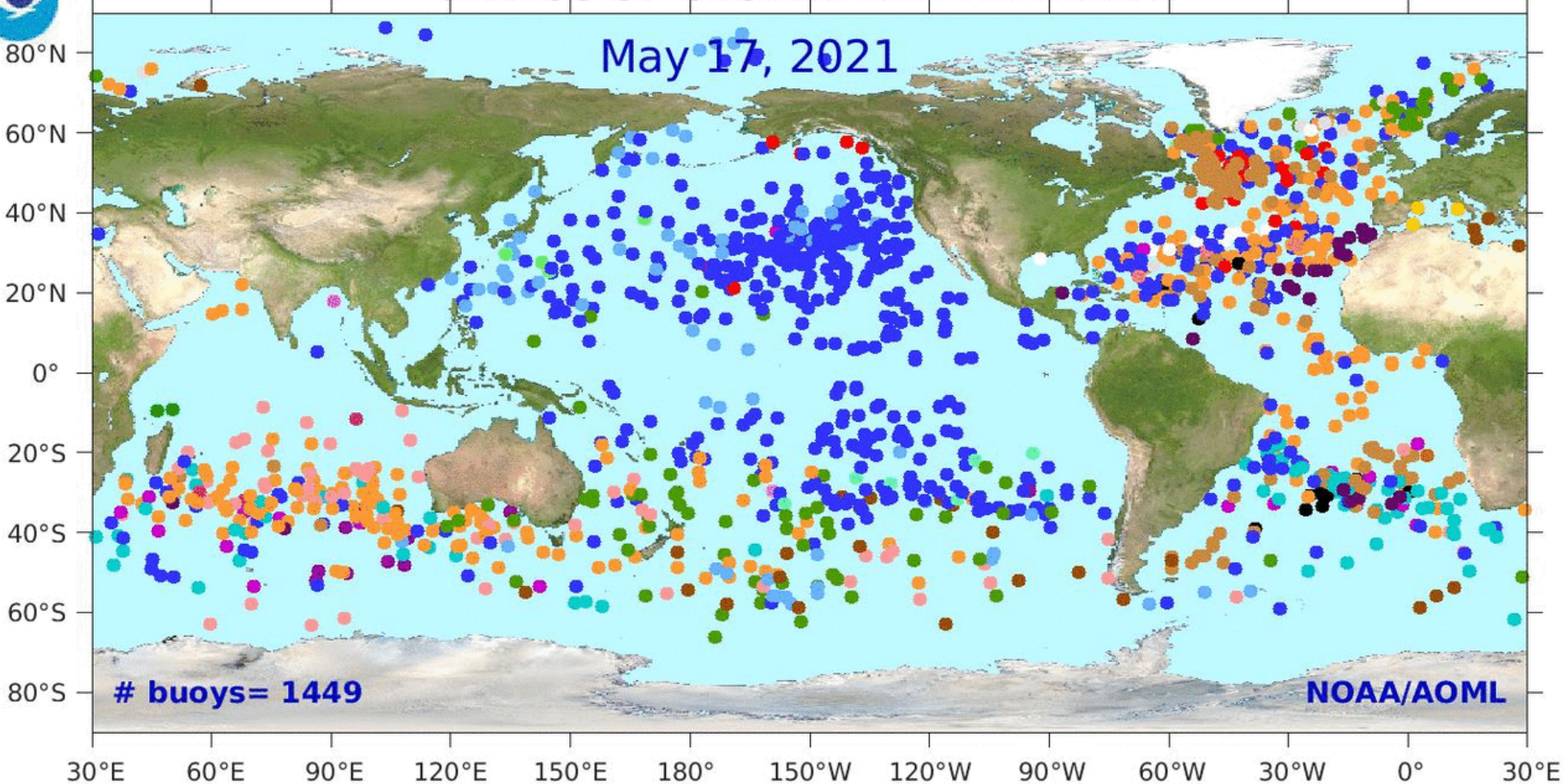
с преобразованием Фурье $\hat{\psi}(f) = \pi^{-1/4} H(f) e^{-\pi(f-f_0)^2}$, где $H(f)$ - функция

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



STATUS OF GLOBAL DRIFTER ARRAY

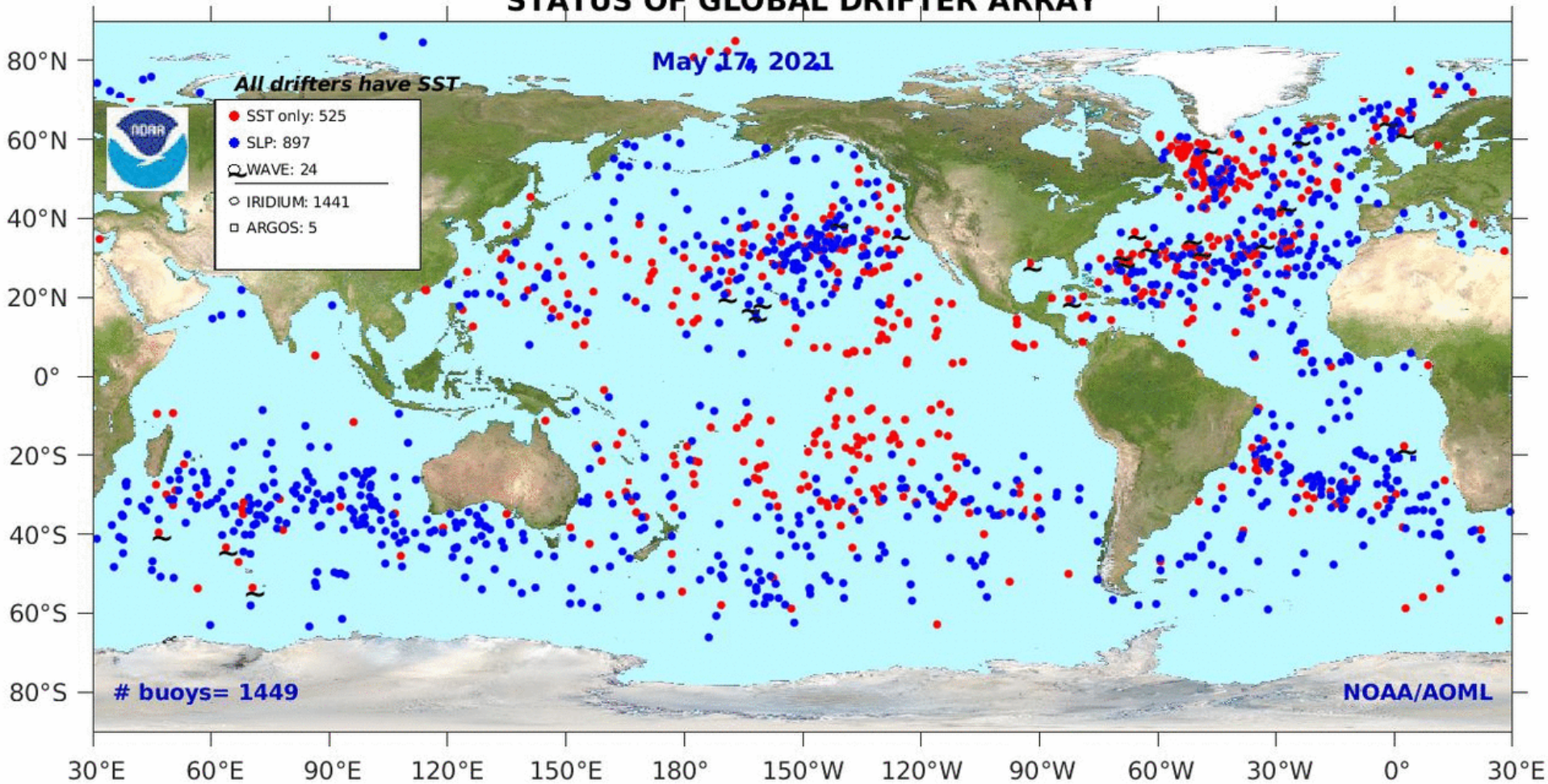
May 17, 2021



Deploying Country

- | | | | | | |
|------------------|----------------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------|
| ● Australia (60) | ● China (4) | ● India (7) | ● Korea, Rep. of (73) | ● Seychelles (1) | ● UK (115) |
| ● Barbados (3) | ● Denmark (1) | ● Indonesia (2) | ● Mauritius (1) | ● South Africa (76) | ● USA (597) |
| ● Brazil (15) | ● France (266) | ● Italy (29) | ● New Zealand (61) | ● Spain (4) | ● Unknown (12) |
| ● Canada (28) | ● Germany (13) | ● Japan (13) | ● Netherlands (8) | ● Thailand (1) | |
| ● Chile (6) | ● Iceland (25) | ● Kenya (2) | ● Portugal (25) | ● Tonga (1) | |

STATUS OF GLOBAL DRIFTER ARRAY





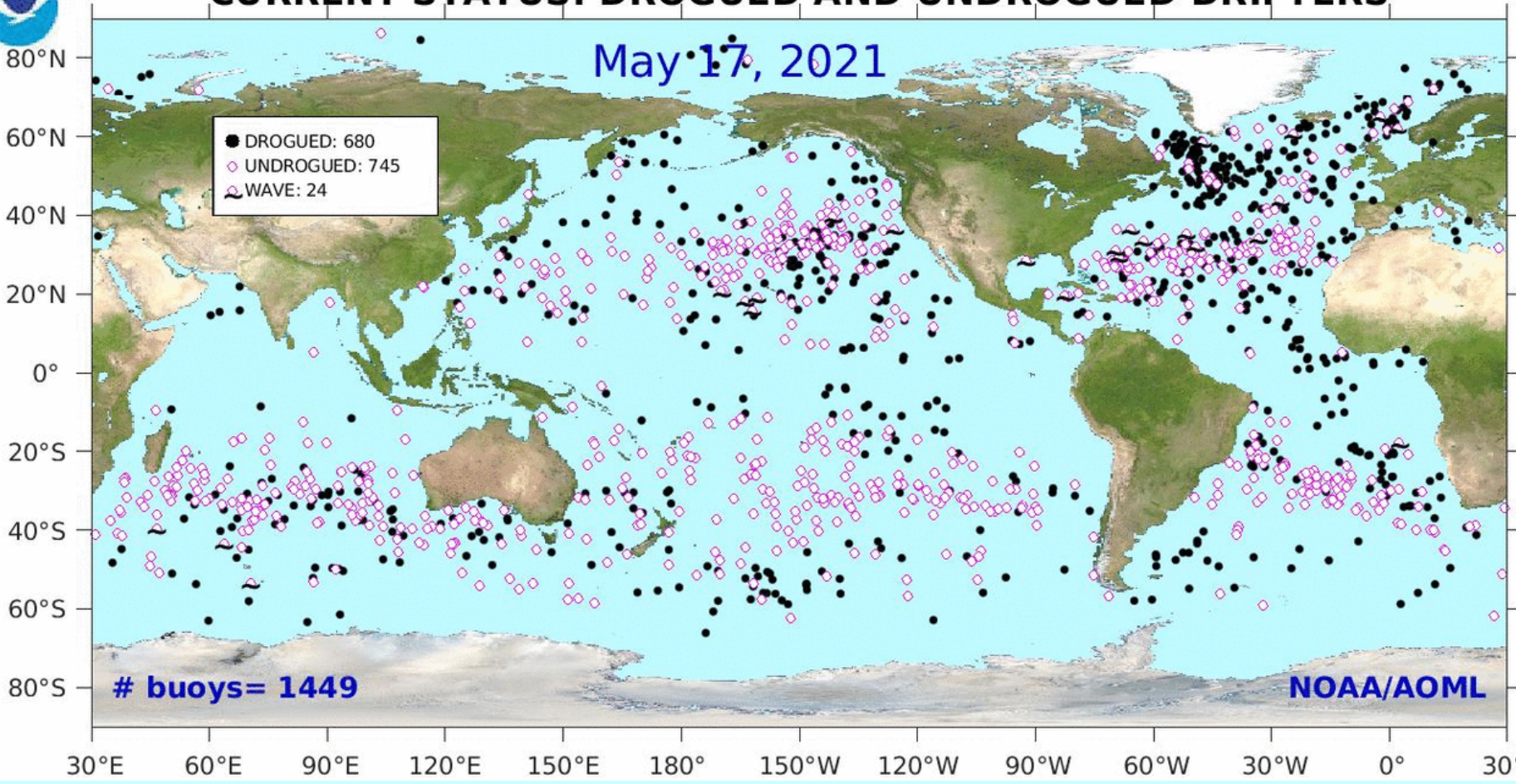
CURRENT STATUS: DROGUED AND UNDROGUED DRIFTERS

May 17, 2021

● DROGUED: 680
◇ UNDROGUED: 745
⌘ WAVE: 24

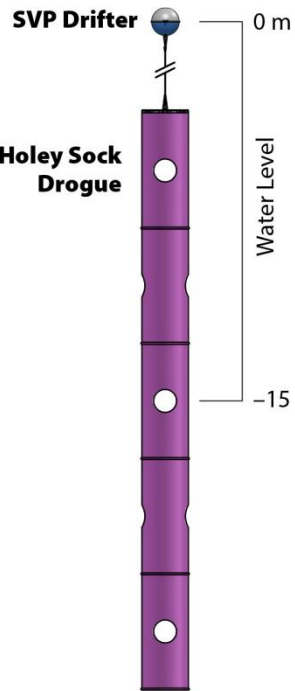
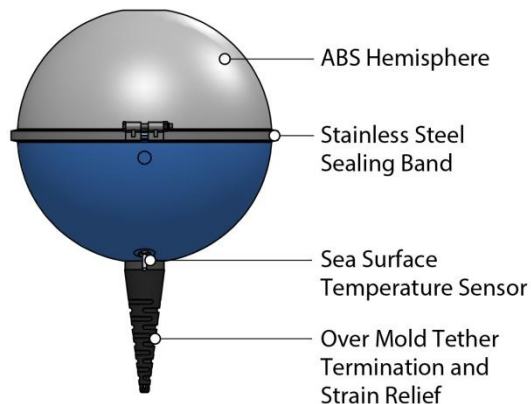
buoys = 1449

NOAA/AOML

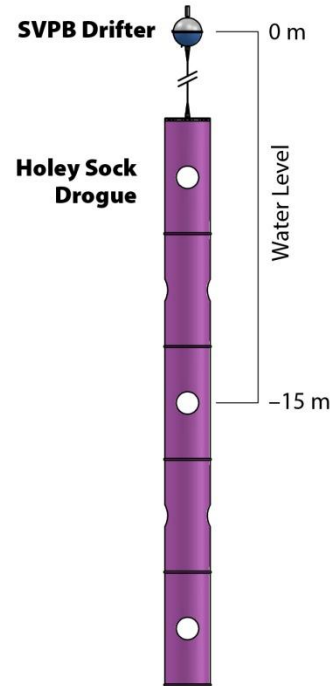
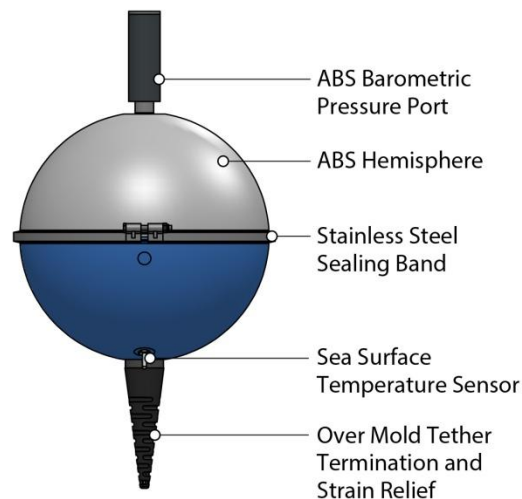




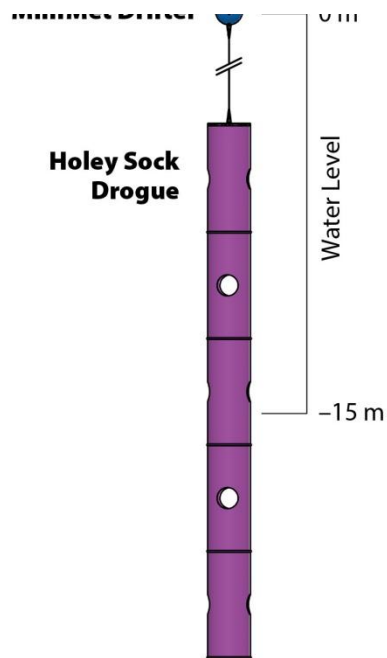
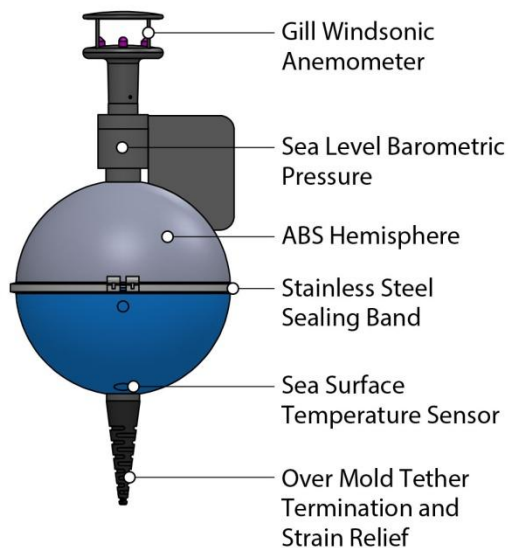
SVP Drifter



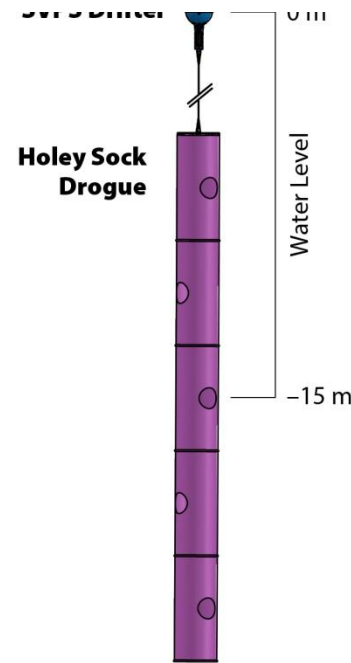
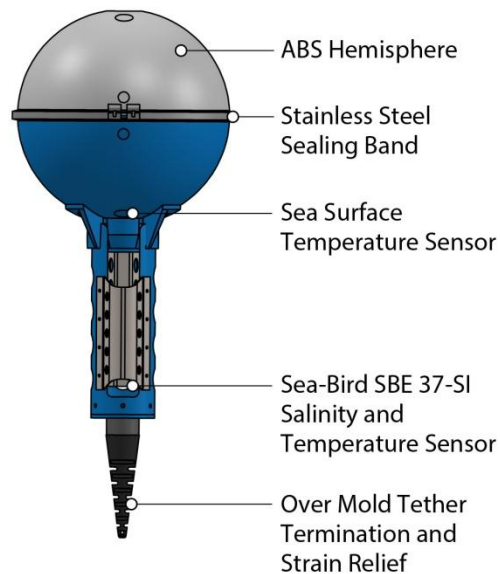
SVPB Drifter



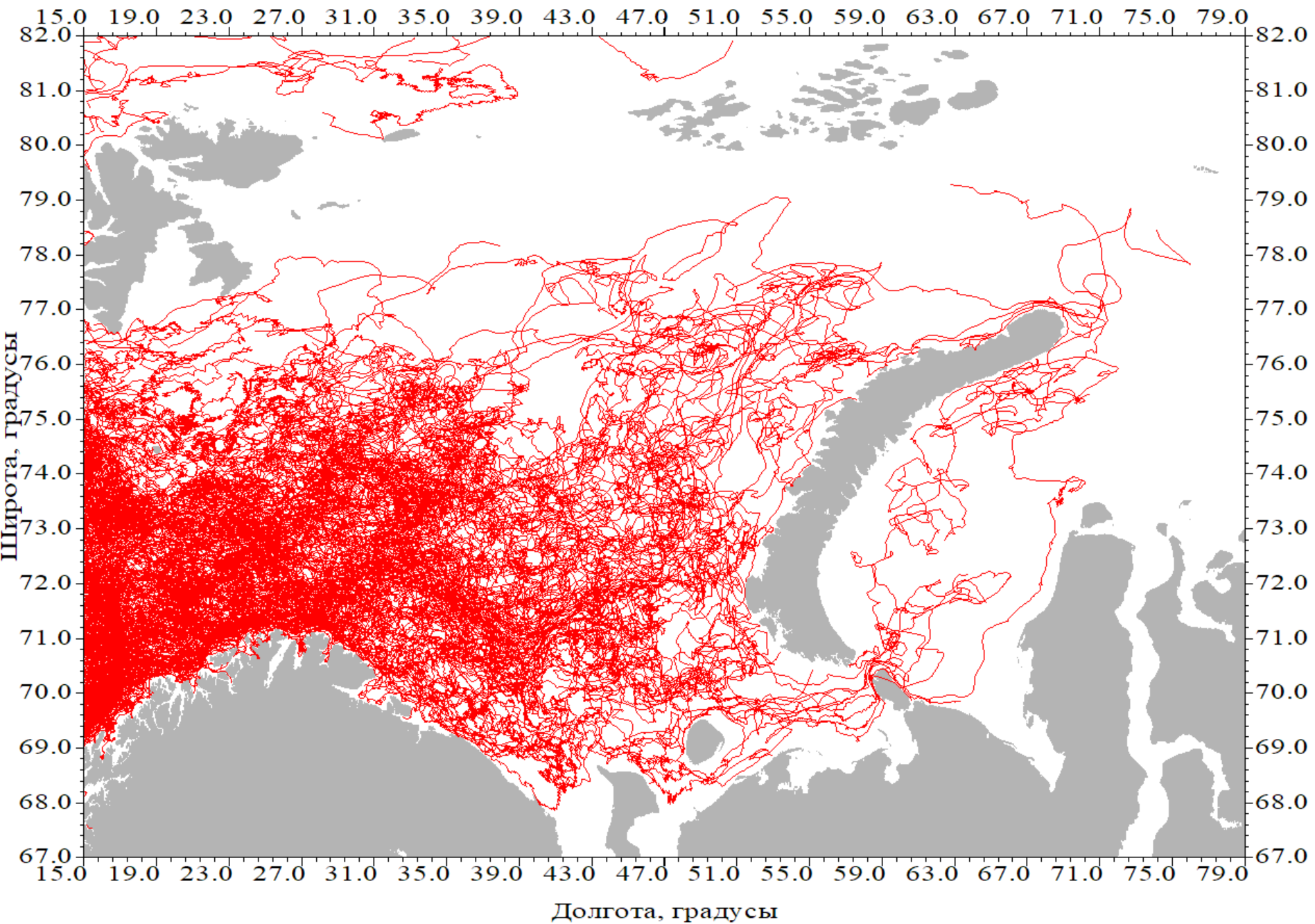
MiniMet Drifter

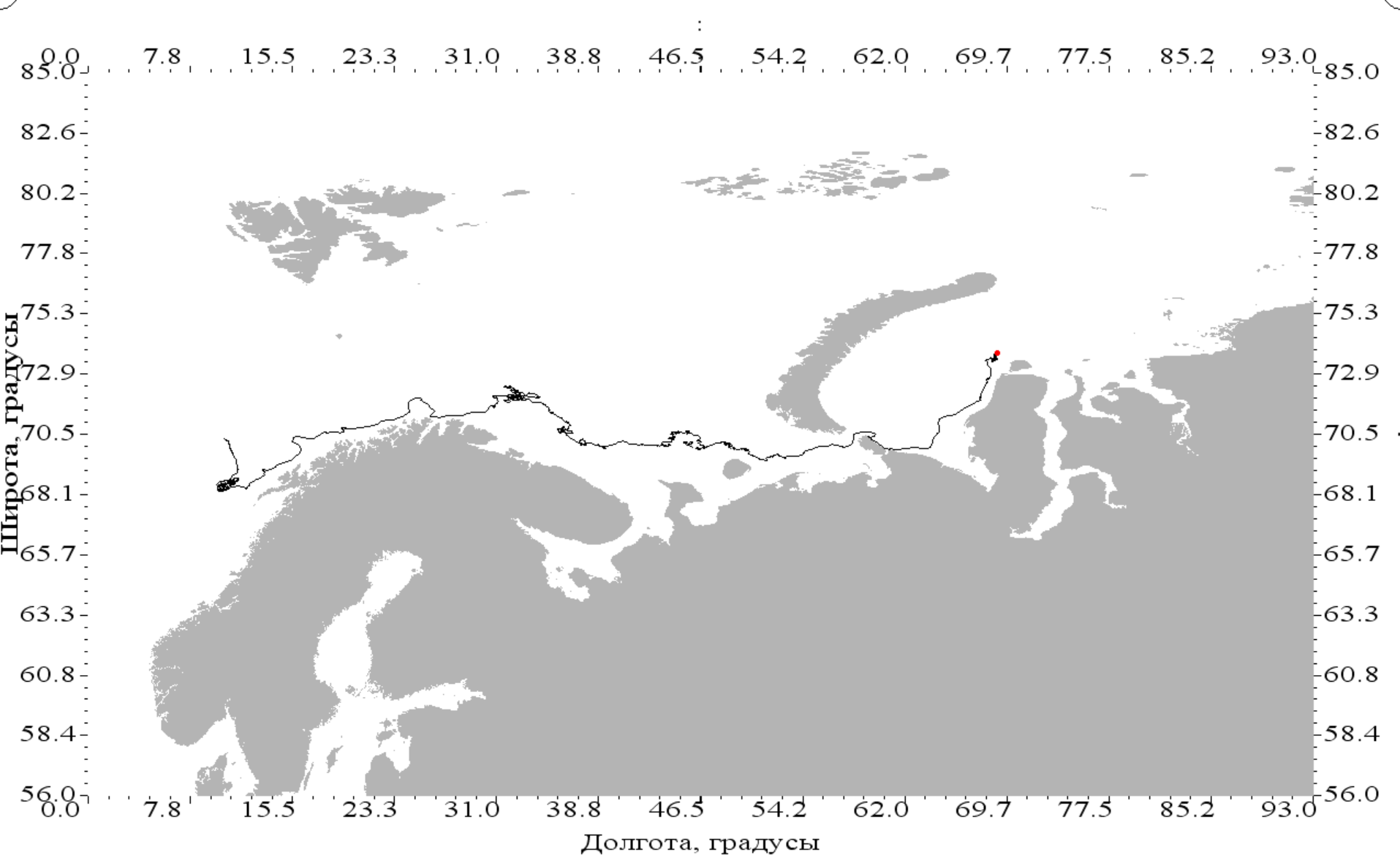


SVPS Drifter

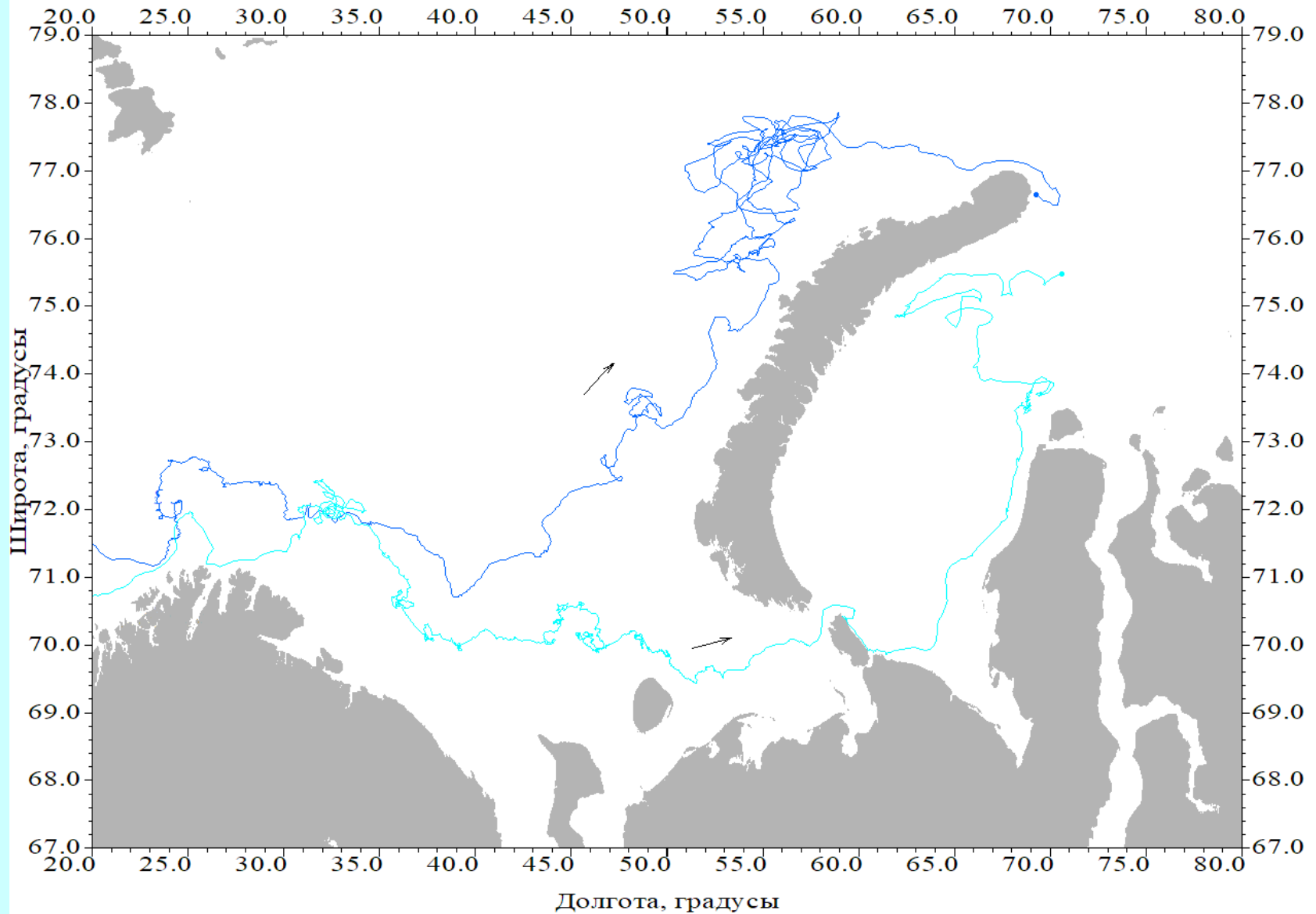


Примеры.
Примечательные траектории дрейфтеров
в приполярной Атлантике.

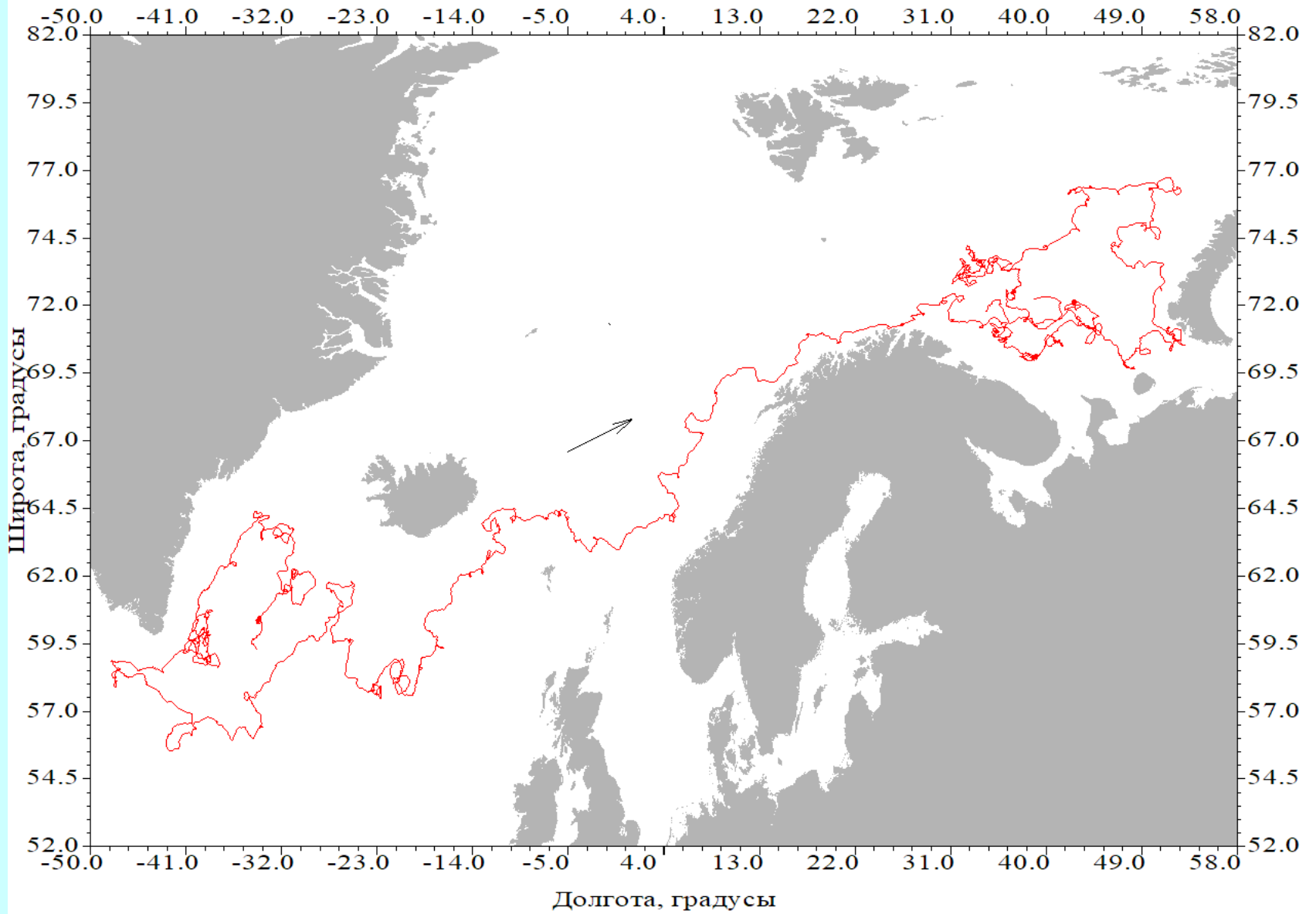




Траектории дрейфтеров ARGO(s) # 76807.
Автор: Никитин О.П.

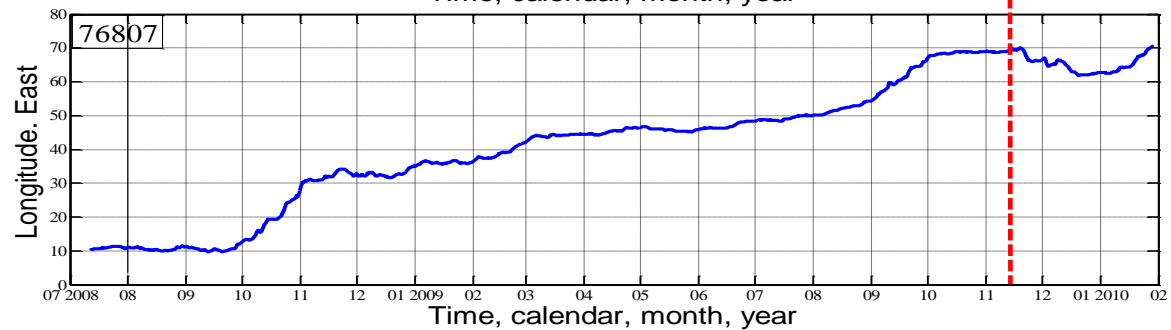
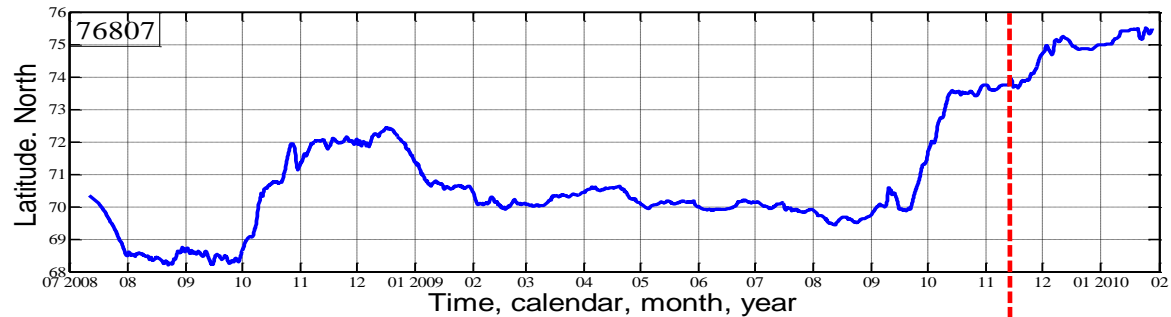


Траектории дрейфтеров ARGO(s) ## 76807 & 46280.
Автор: Никитин О.П.

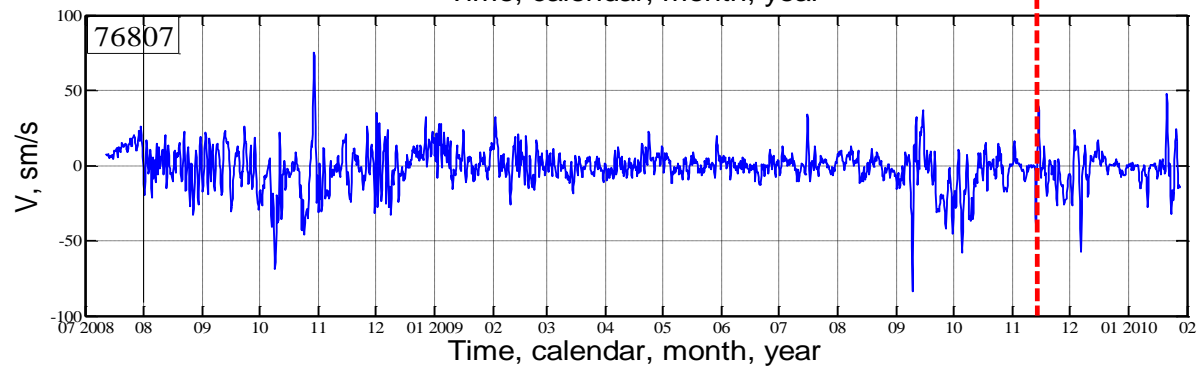
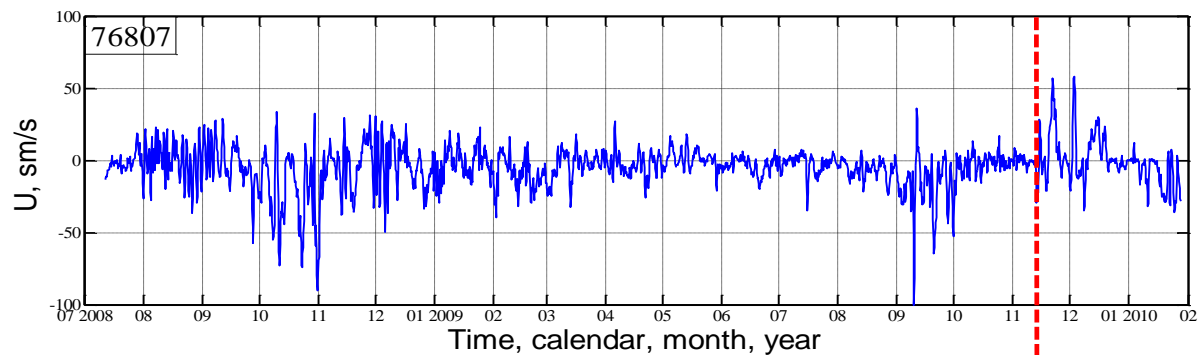


Траектории дрифтера ARGOS(s) #83427. Автор: Никитин О.П.

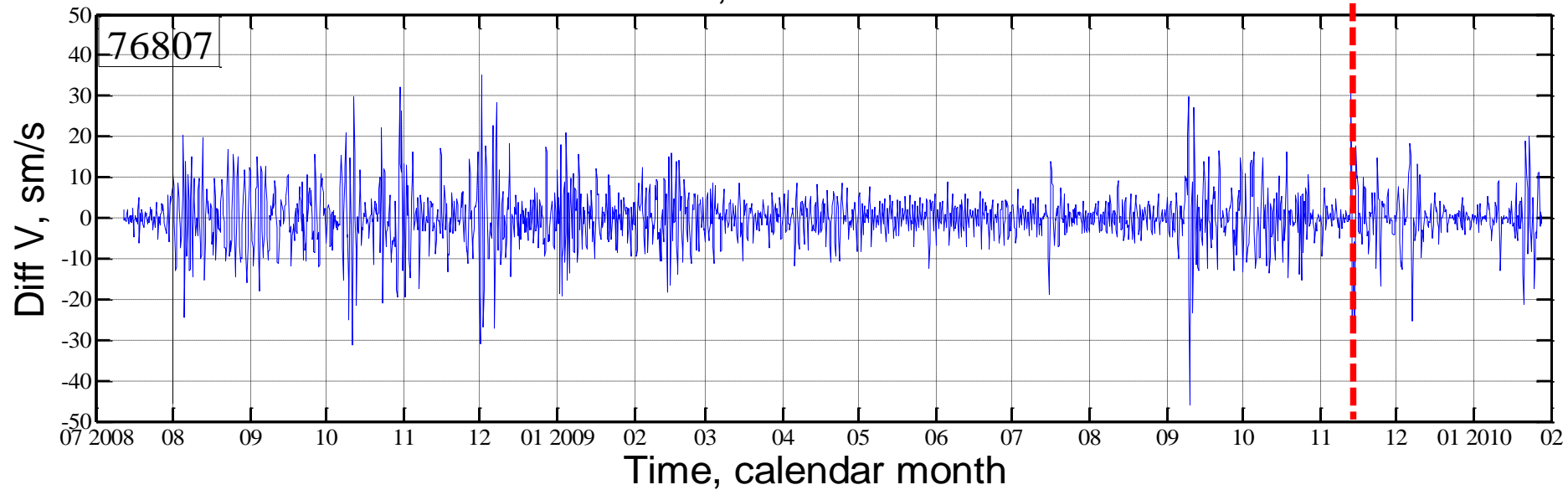
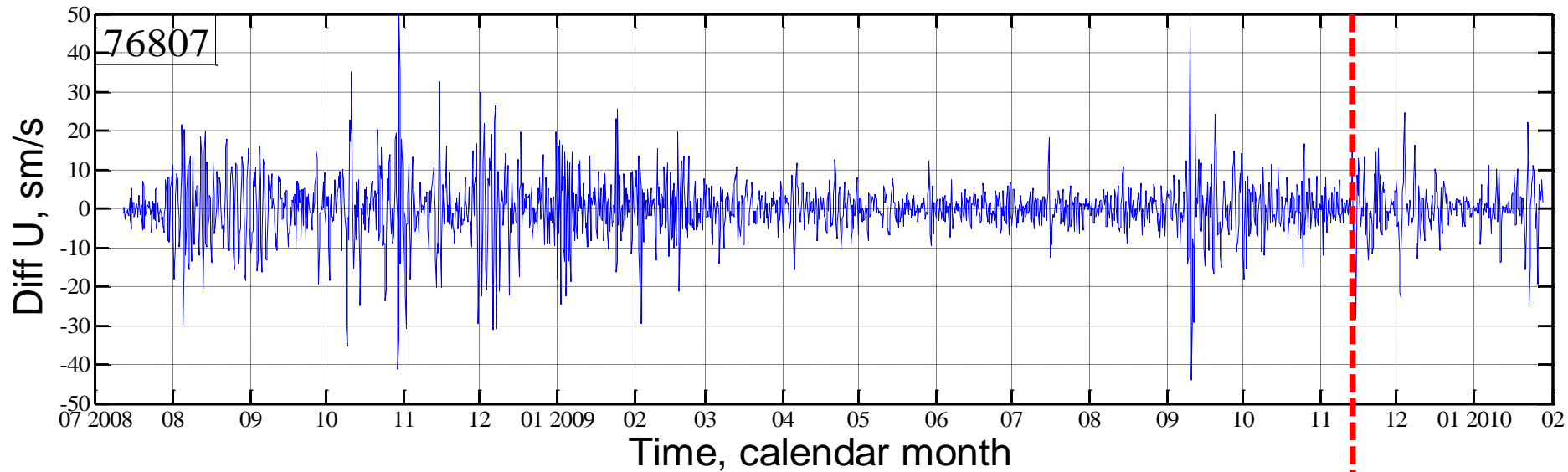
Траектории с дискретностью 6 час.



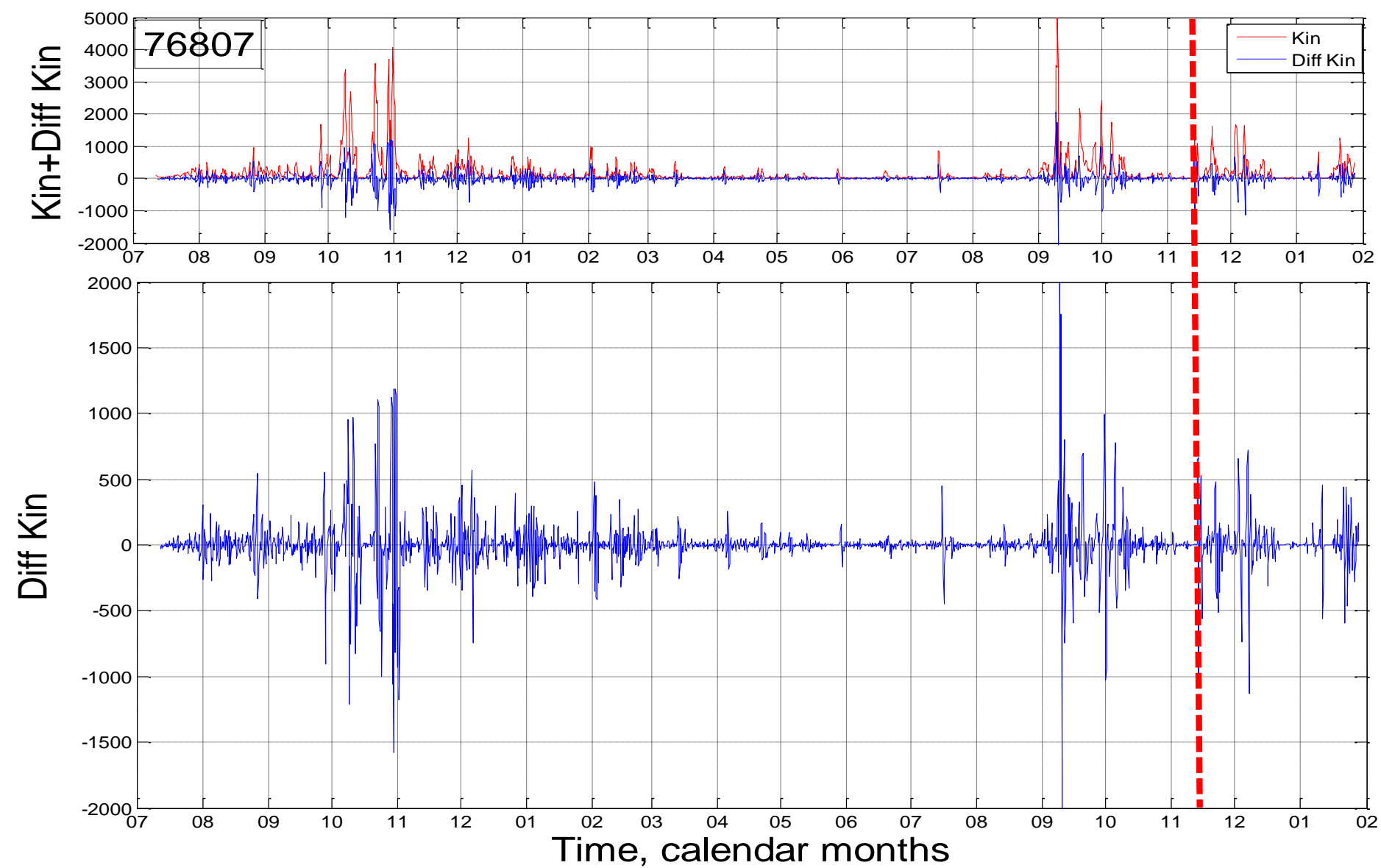
Координаты буйка № 76807 с 11.0718 ч. 2008 г. по 28.01 12ч. 2010г. N=2264, дискретность 6 час. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.



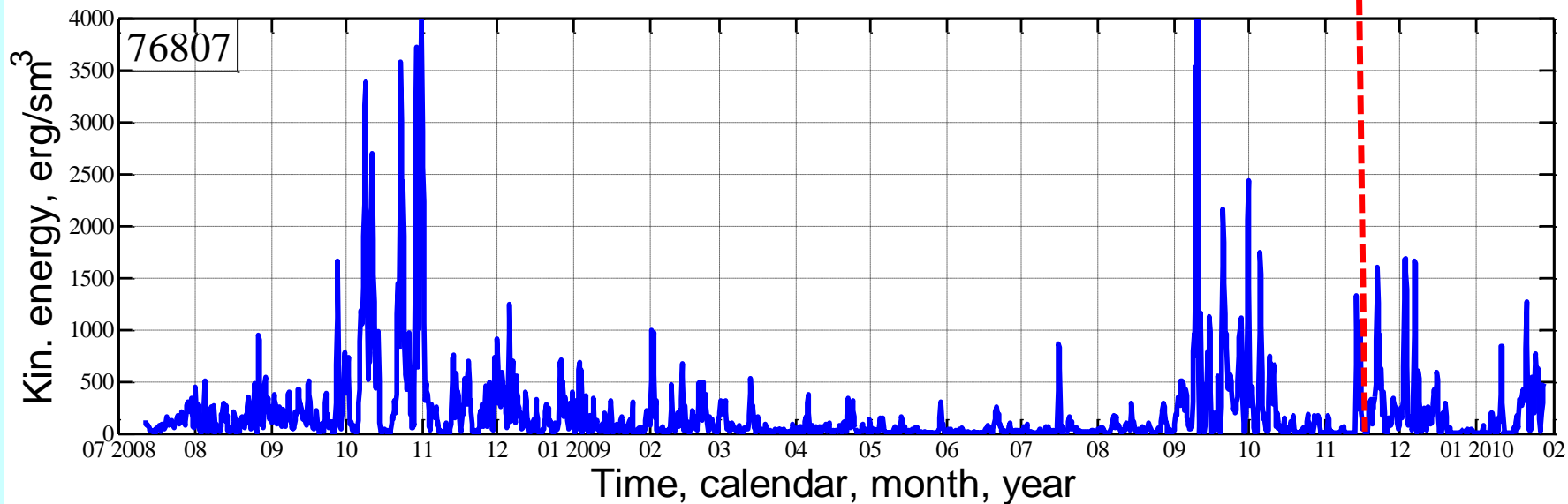
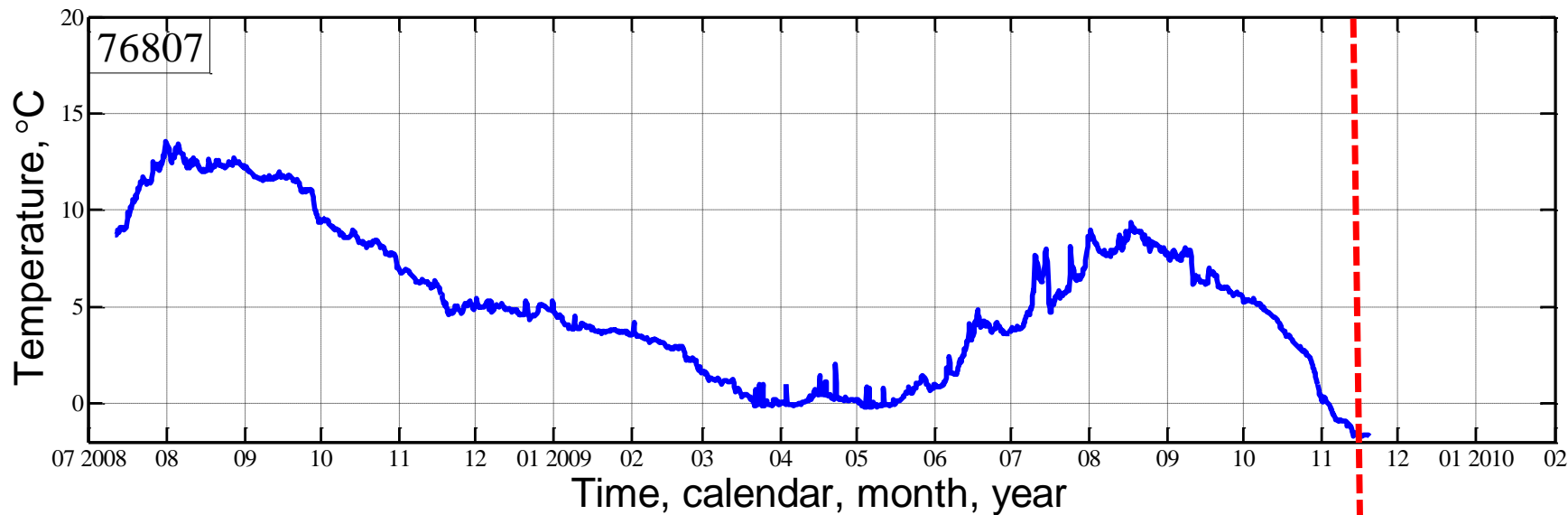
Компоненты скорости U, V буйка № 76807. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.



Компоненты ускорений (приращений скорости за интервал дискретности 6 час.) буйка № 76807. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.

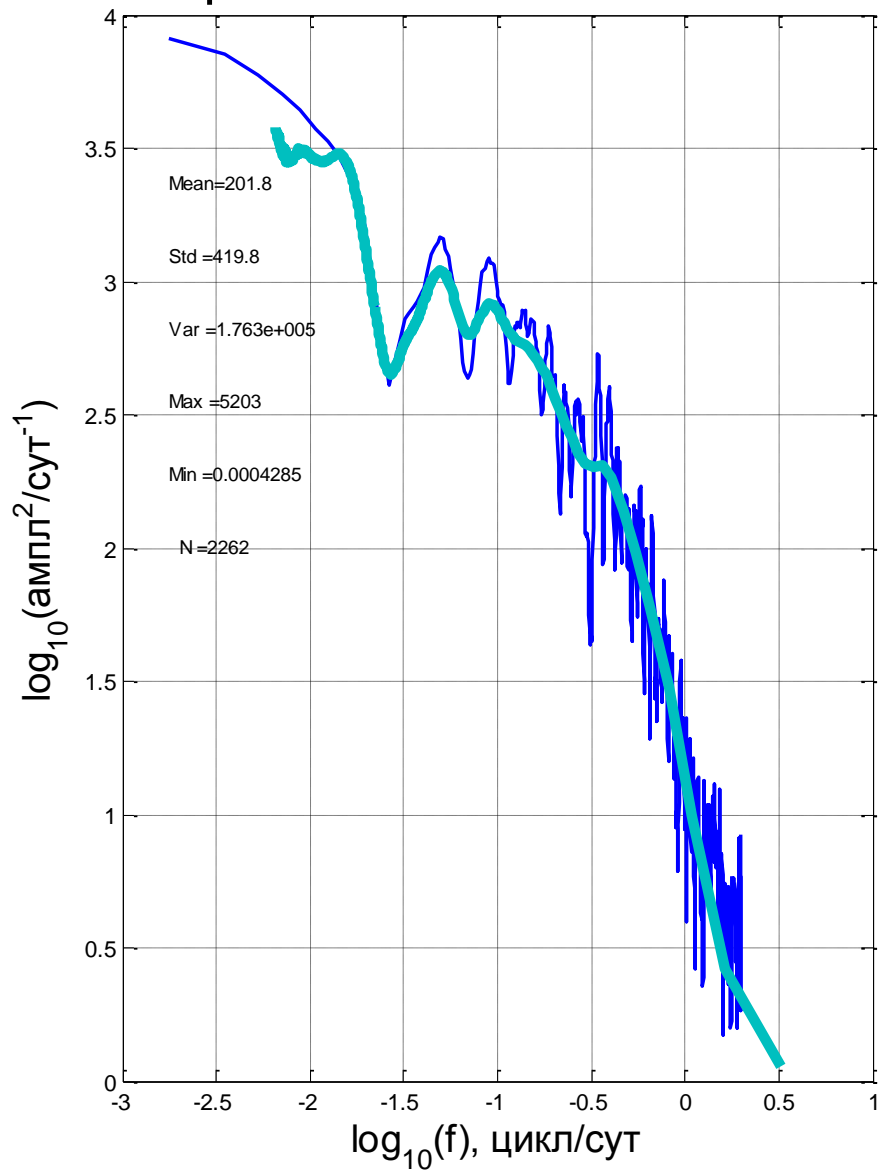


Скорость изменения плотности кинетической энергии буйка № 76807.
Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.

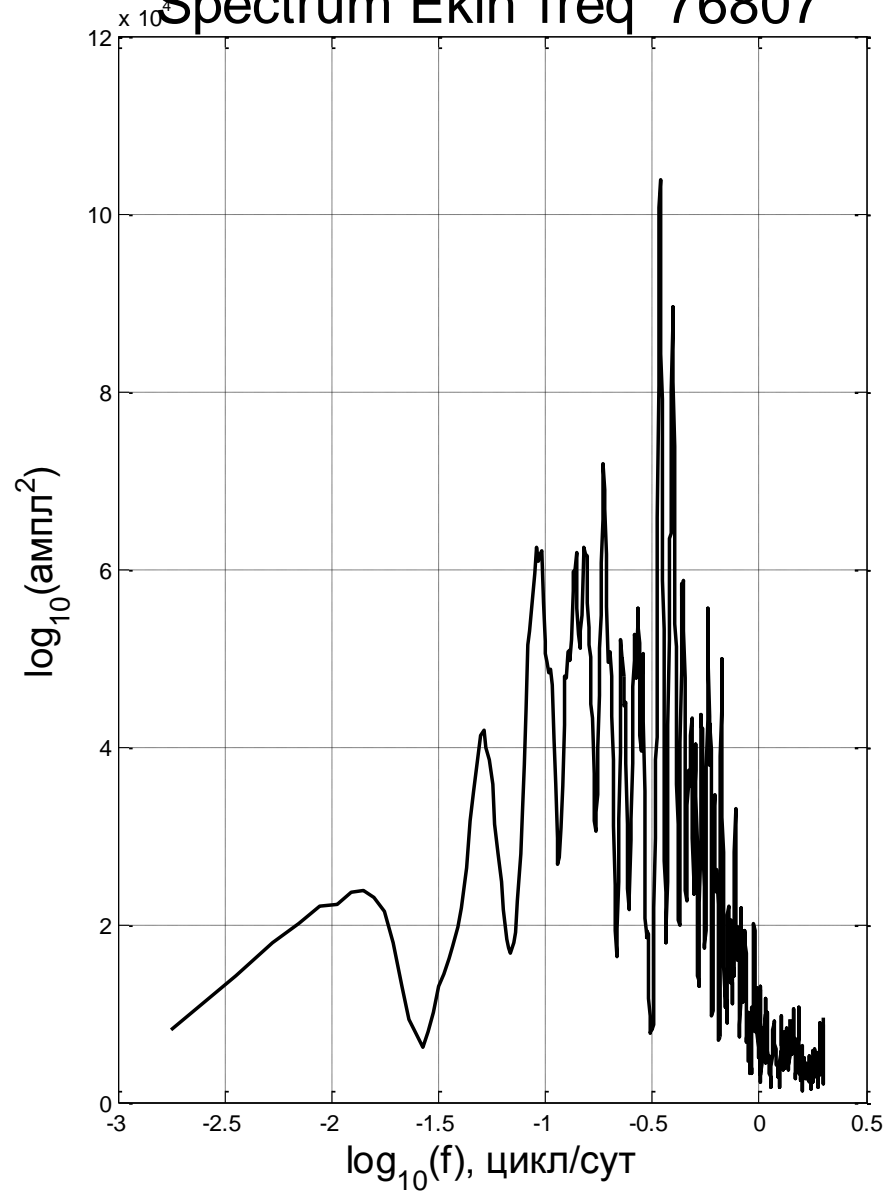


Температура поверхности воды (верхняя панель) и плотность кинетической энергии (нижняя панель) буйка № 76807. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.

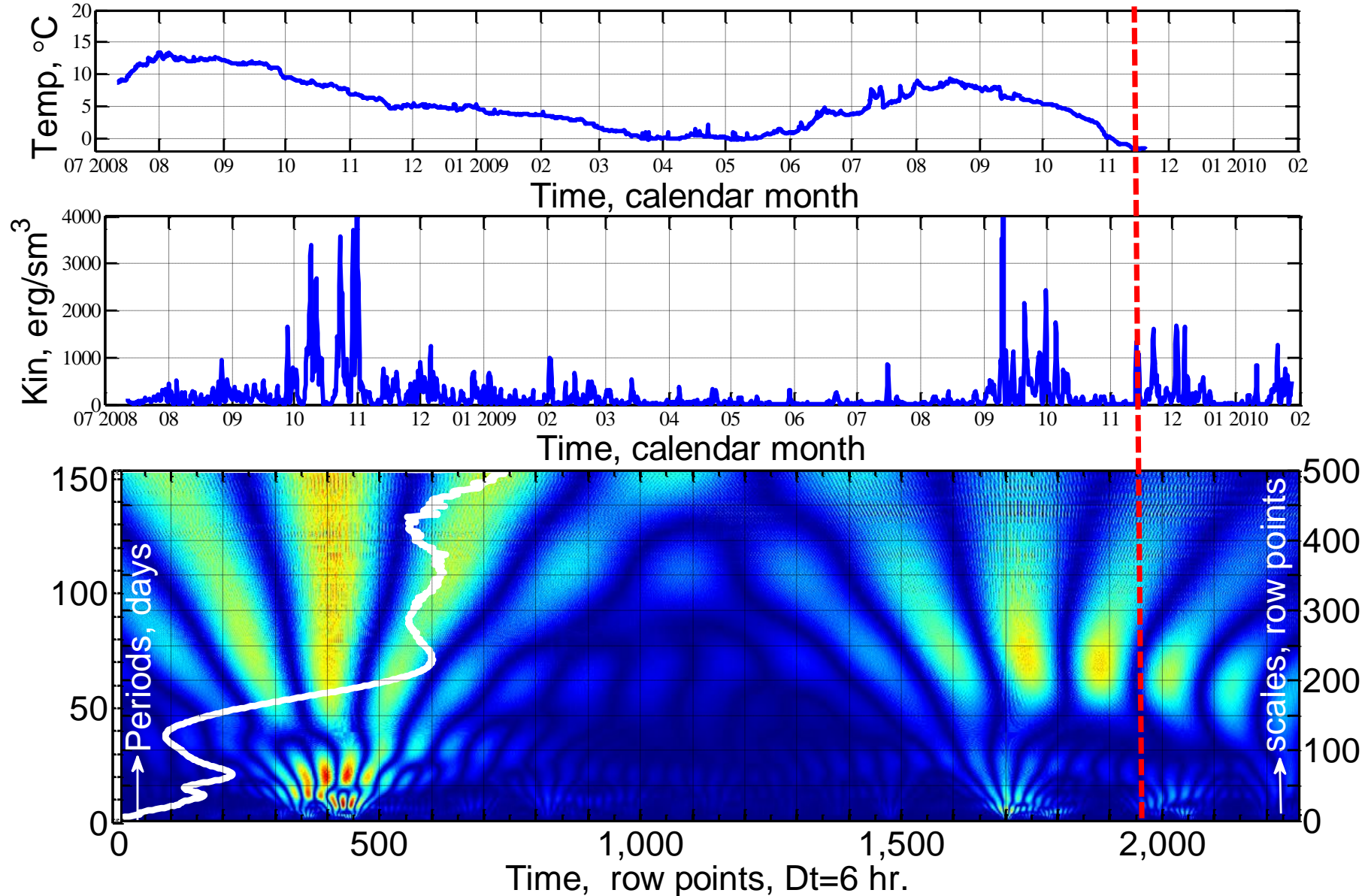
Spectrum Ekin 76807



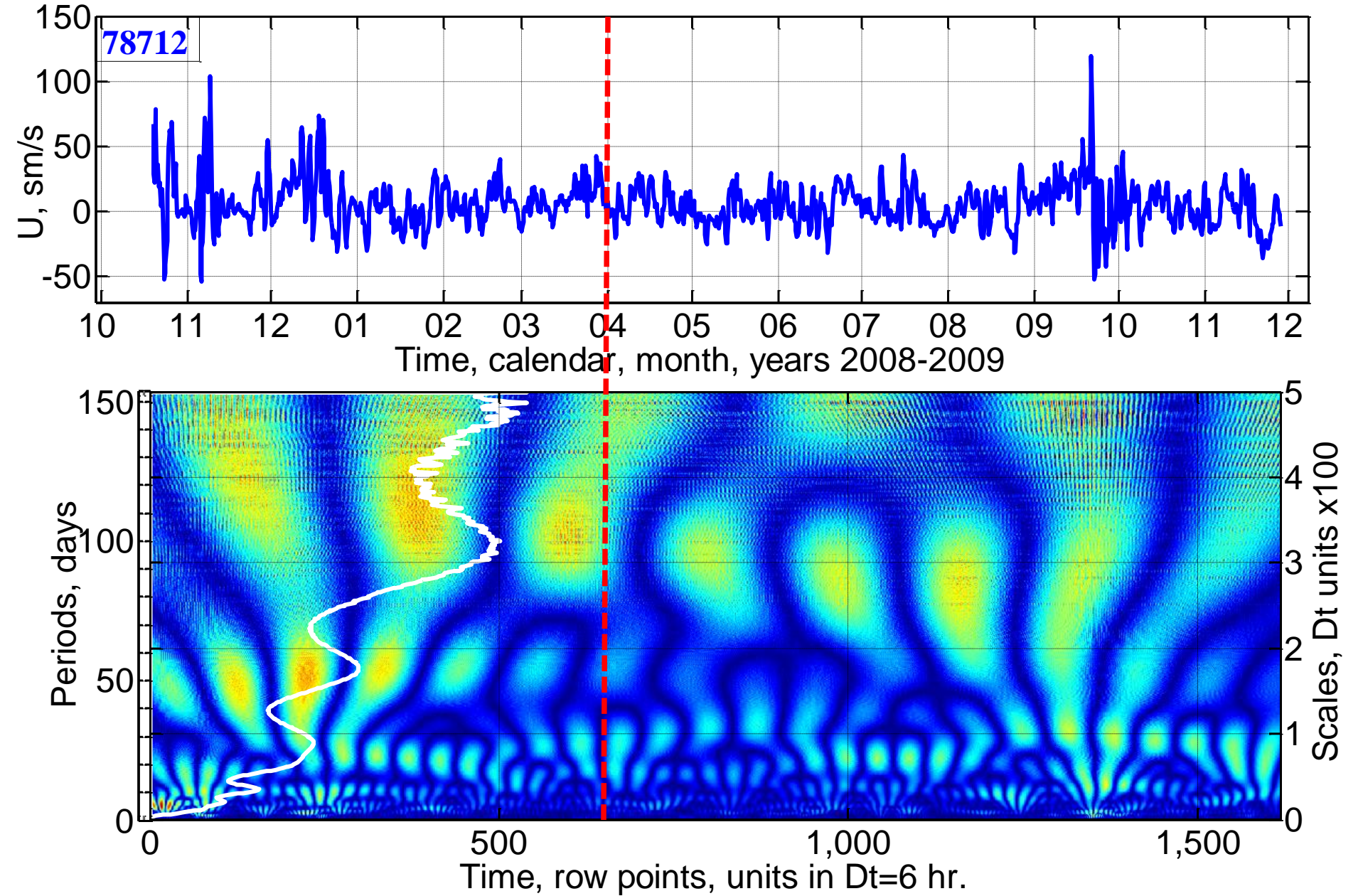
Spectrum Ekin*freq 76807



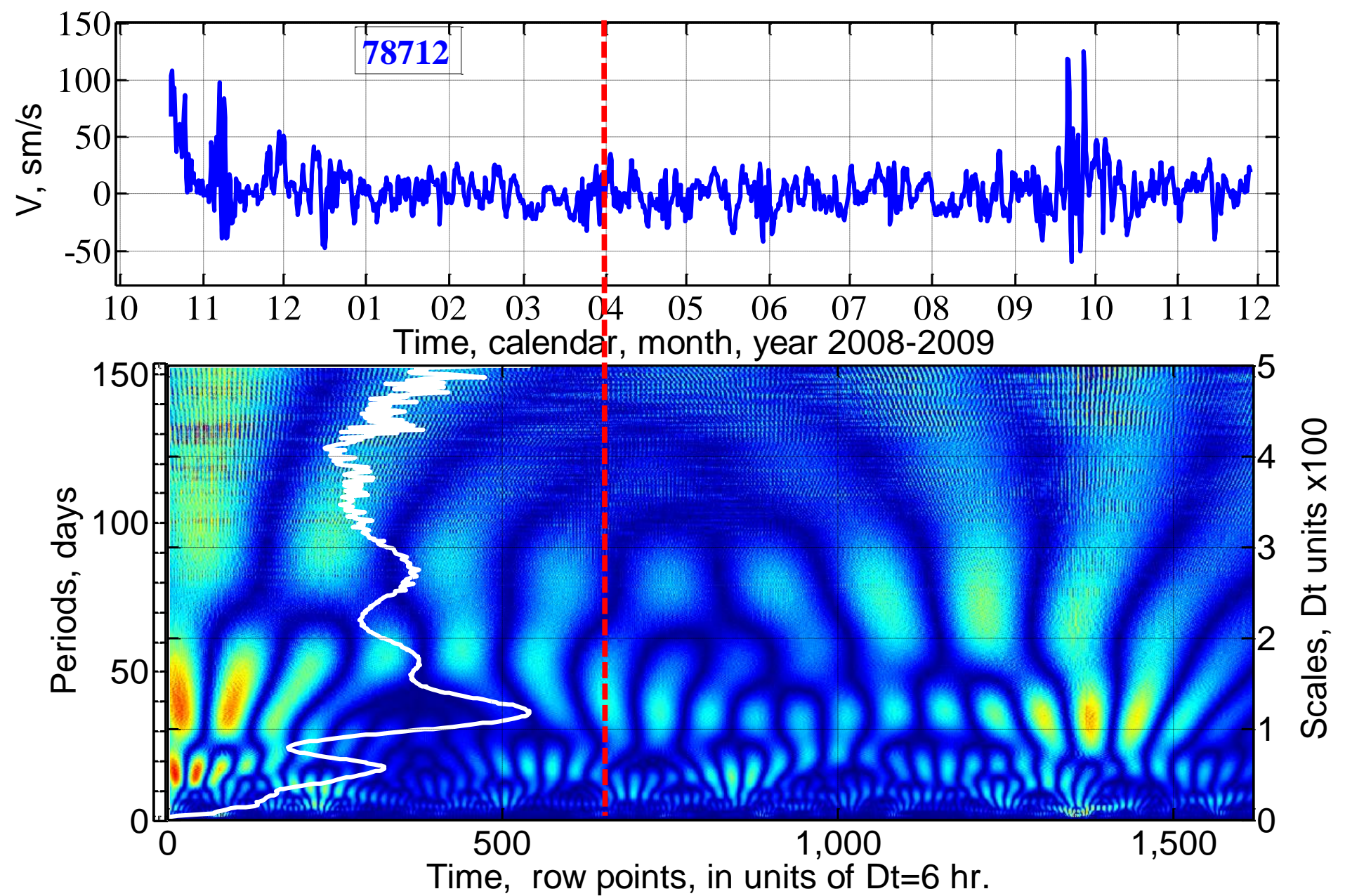
Спектральная плотность Фурье плотности кинетической энергии (слева) и спектр дисперсии плотности кинетической энергии (справа) буйка № 76807. Светлая зелёная кривая- спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени.



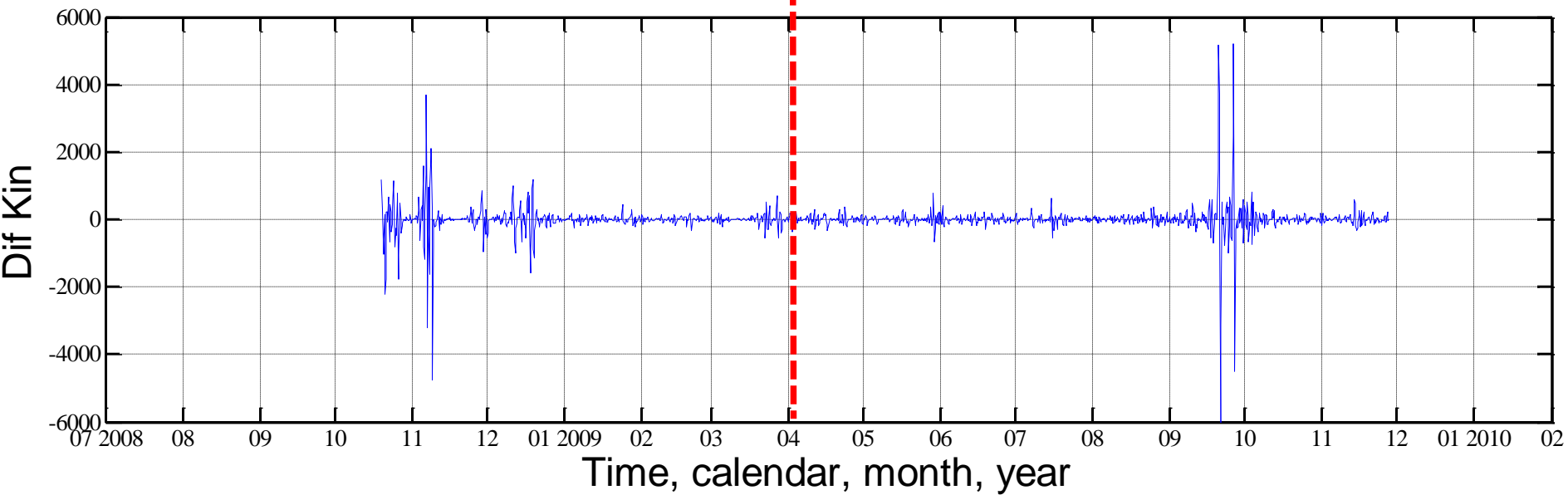
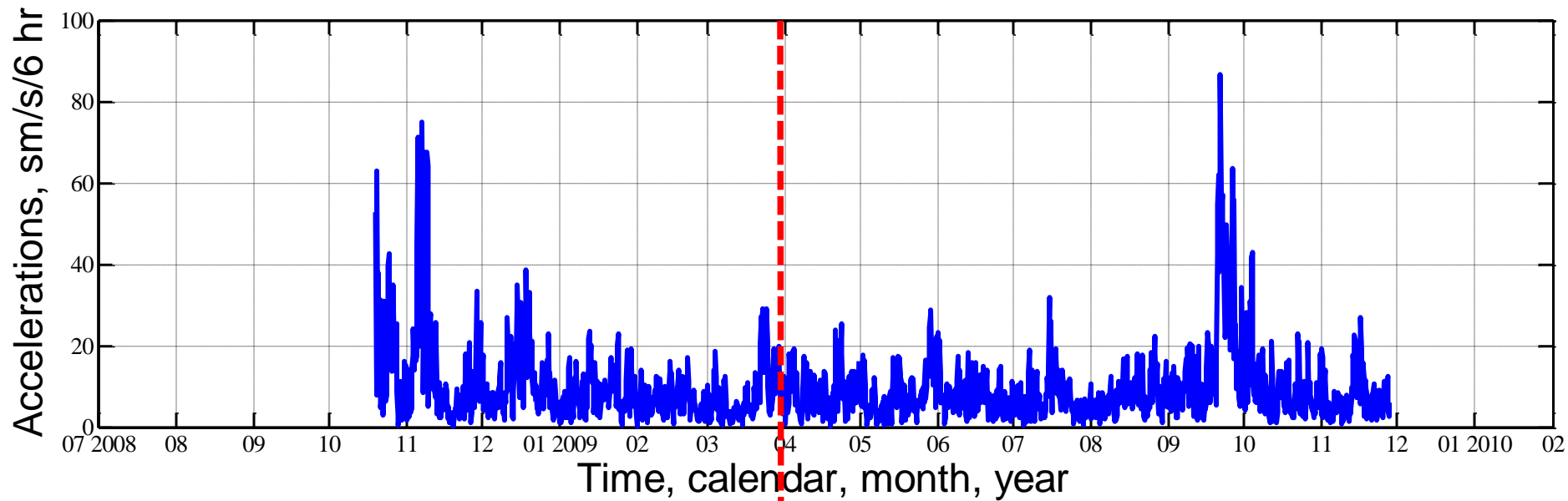
Ход температуры поверхности воды (верхняя панель), плотности кин. энергии (средняя панель), вэйвлет- плотность кин. энергии (нижняя панель) буйка № 76807. Светлая линия- спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.



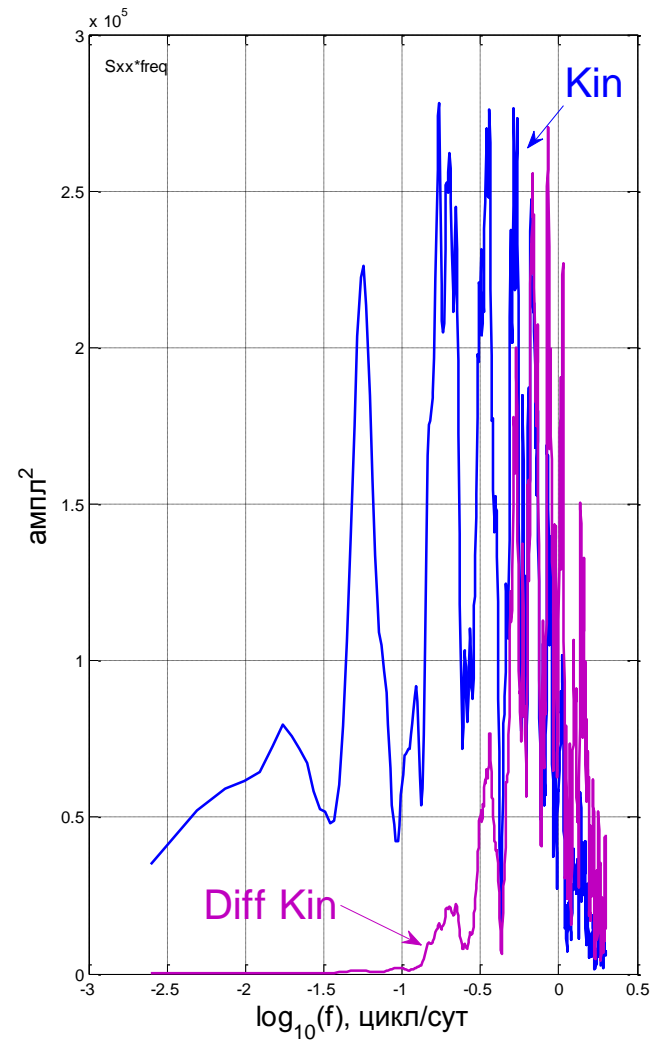
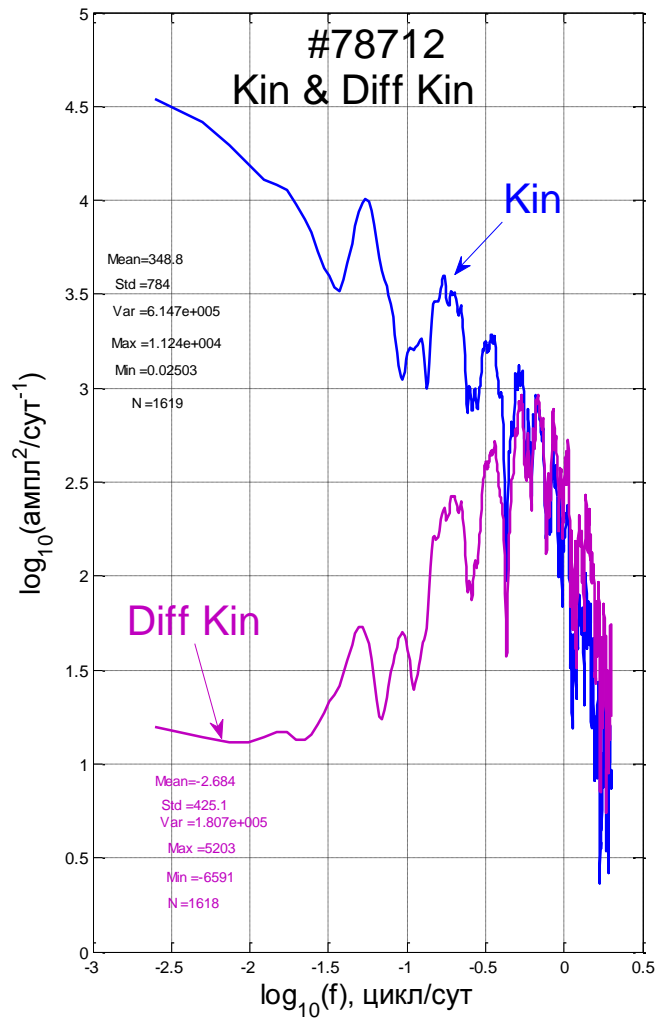
Ход зональной скорости (верхняя панель), вэйвлет-плотность зональной скорости буйка № 78712. Светлая линия- спектр вэйвлет-плотности, проинтегрированной по времени. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.



Ход меридиональной скорости (V) (верхняя панель), вэйвлет-плотность меридиональной скорости № 78712. Светлая линия- спектр вэйвлет-плотности,

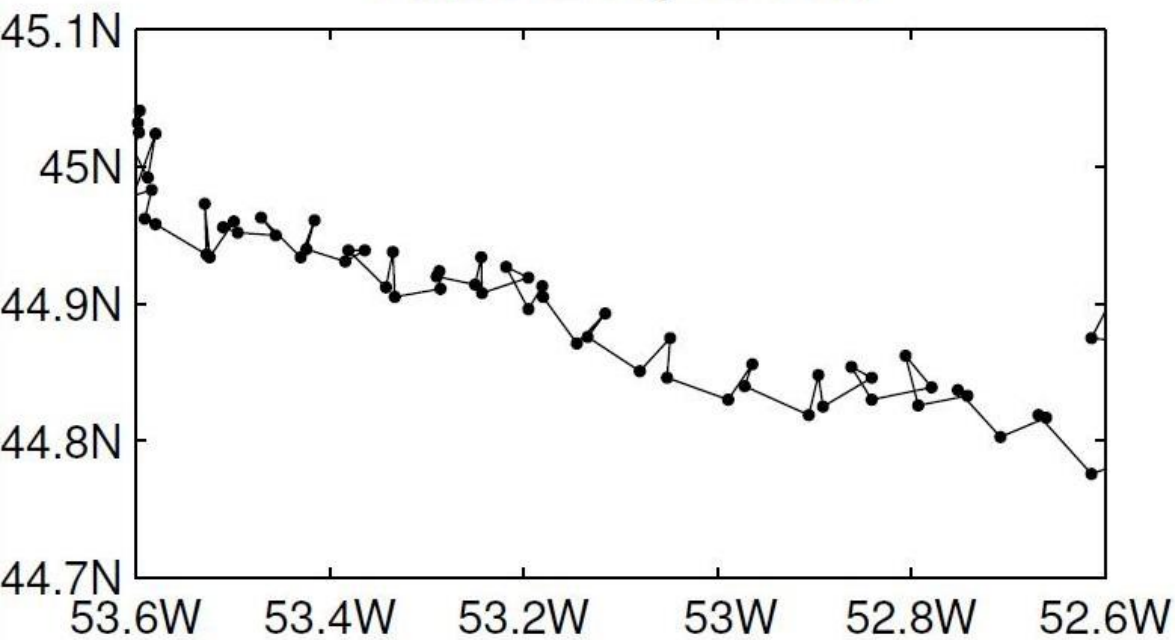


Модуль ускорений и скорость изменения плотности кинетической энергии буйка № 78712. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.

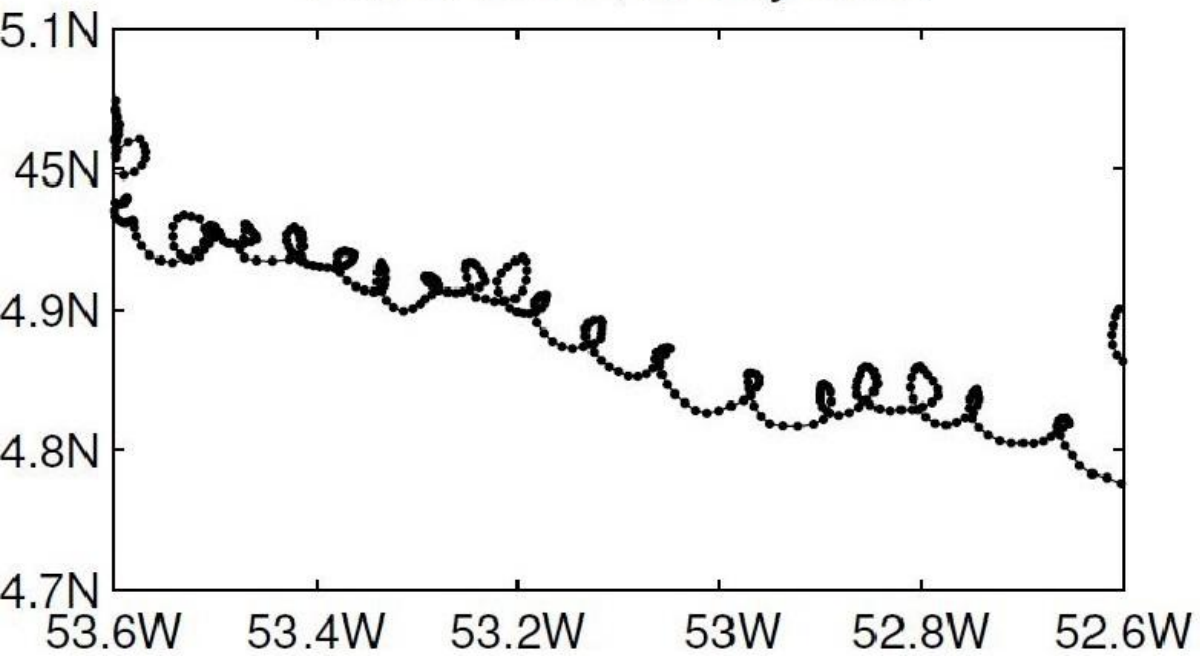


Спектральная плотность Фурье плотности кинетической энергии и скорости изменения плотности кинетической энергии (слева) и спектр дисперсии плотности кинетической энергии (справа) буйка № 78712. Светлая зелёная кривая- спектр вэйвлет- плотности, проинтегрированной по времени.

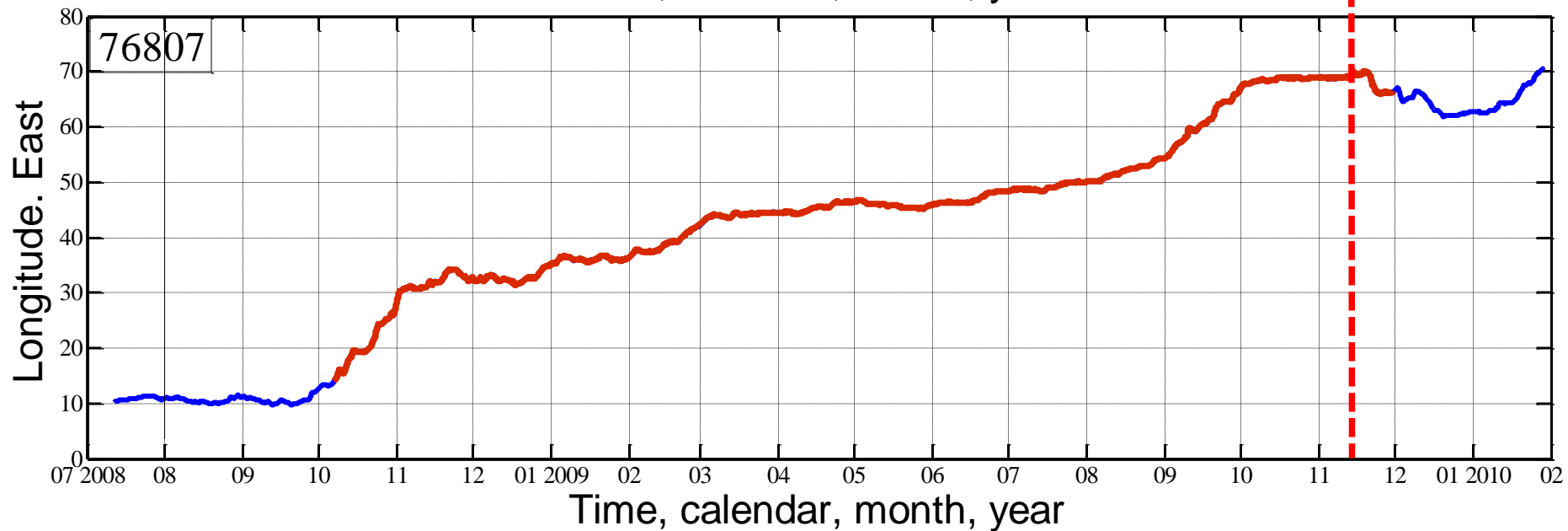
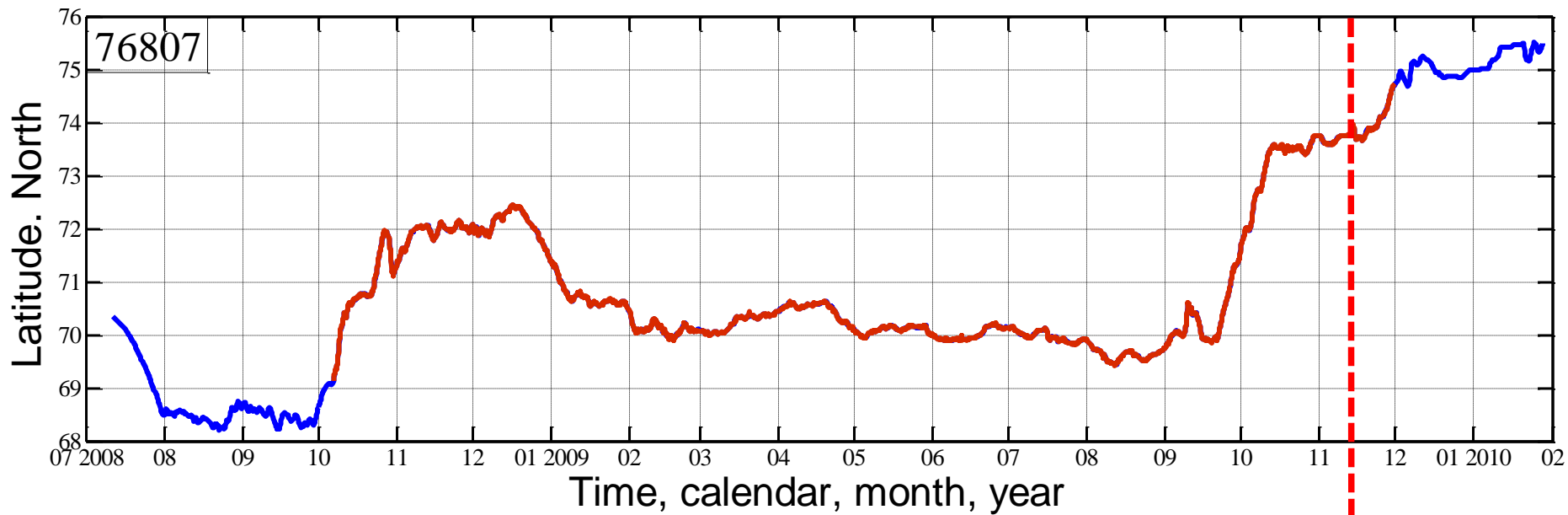
Drifter 2578, 6h data



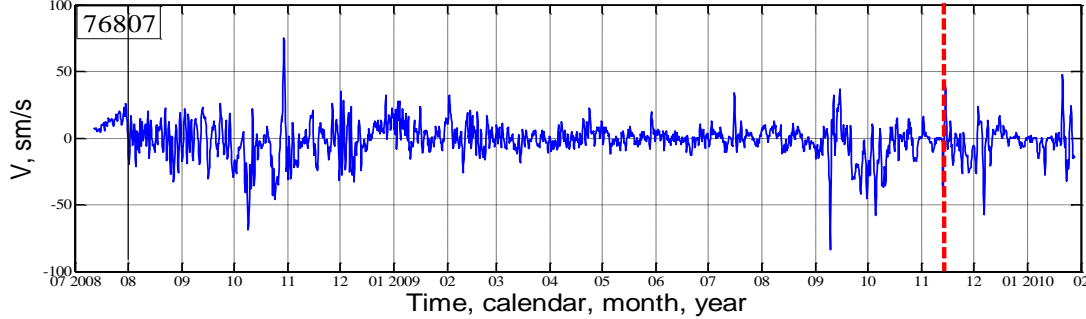
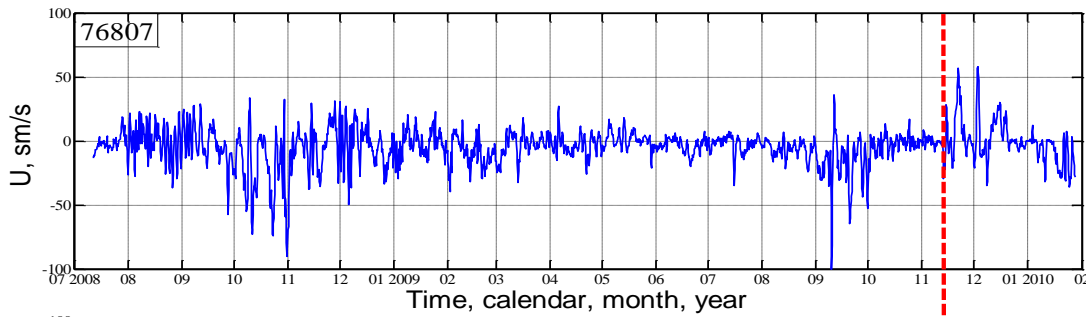
Drifter 2578, hourly data



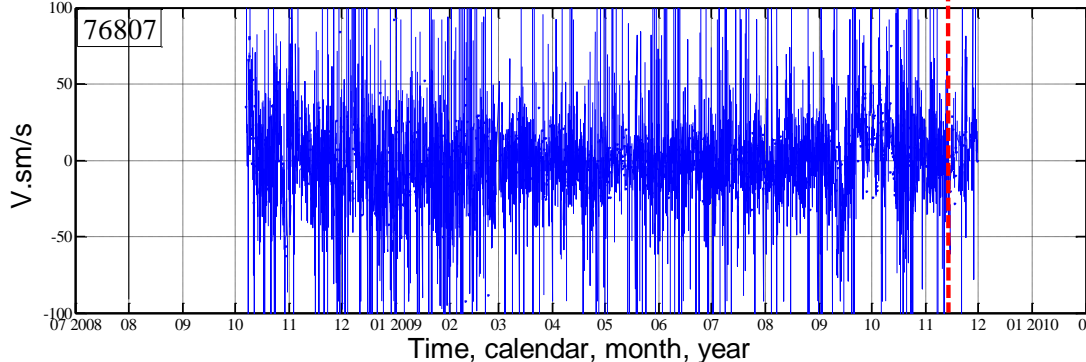
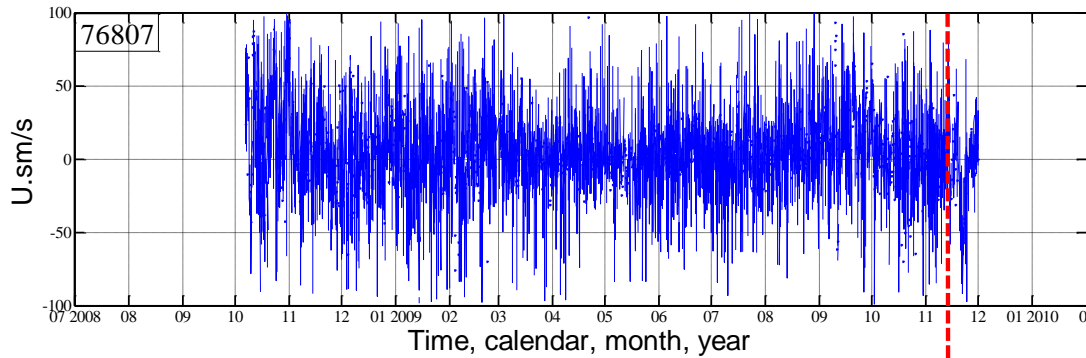
Hourly Drifter Locations and Velocities With Formal Error Bars



Координаты буйка № 76807 с 11.0718 ч. 2008 г. по 28.01 12ч. 2010г. N=2264, дискретность 1 час. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.



Компоненты скорости U, V буйка № 76807. $\Delta t=6$ час. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.



Компоненты скорости U, V буйка № 76807. $\Delta t=1$ час. Красная пунктирная линия обозначает время отрыва паруса.

Предварительные выводы

1. Индикатором потери подводного паруса дрейфтера могут быть изменения спектрального состава спектральной и вэйвлет плотности ускорений дрейфтера, рассчитанных по данным траектории с минимальной дискретностью 5 минут с номинальной точностью оценки координат – 7 метров.
2. Важно отметить, что ошибки при дифференцировании траектории возрастают, причём частотный состав флуктуаций изменяется. Контроль сопутствующей фильтрации осуществлялся по автоспектрам,

Литература

Никитин О.П., Касьянов С.Ю. О дрейфтерных наблюдениях за течениями и температурой в Баренцевом и Карском морях // Труды ГОИН. 2016. Вып. 217. С. 171–183. [izdanie217.pdf](http://www.oceanography.ru/izdanie217.pdf)

<http://www.oceanography.ru/index.php/component/jdownloads/finish/30/1676>

Haza A.C., et al. Drogue-Loss Detection for Surface Drifters during the Lagrangian Submesoscale Experiment (LASER) // Journal of Atmospheric And Oceanic Technology. 2018.V. 35. N.4. pp.705–725.

Никитин, О.П. Международные программы глобальных океанографических наблюдений и участие в них России // Океанологические исследования.- 2017.- Т.45.- Вып. 1. - С. 70–89.

Никитин, О.П. Характеристика глобальных наблюдений за поверхностными течениями Мирового океана с помощью отслеживаемых со спутников дрейфующих буев // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)". - Москва: ИКИ РАН, 2020.- Сборник материалов конференции, XVIII.Е.375. Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов, 234.

Мельников, В.А., Никитин, О.П. Особенности траекторий поверхностных поплавков ARGO(S) при переносе из Северной Атлантики в Карское море // XXVIII Международная конференция «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2020».- Новороссийск: Политех, - 2020.- Труды.

Литература (продолжение)

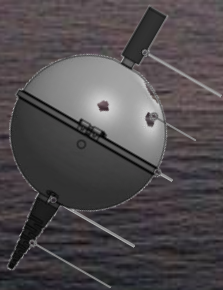
Haza A.C., et al. Drogue-Loss Detection for Surface Drifters during the Lagrangian Submesoscale Experiment (LASER) // *Journal of Atmospheric And Oceanic Technology*. 2018.-V. 35.- N.4. - pp.705–725.

Grodsky, Semyon A., Rick Lumpkin, and James A. Carton. "Spurious trends in global surface drifter currents." *Geophysical Research Letters* 38.10 (2011).

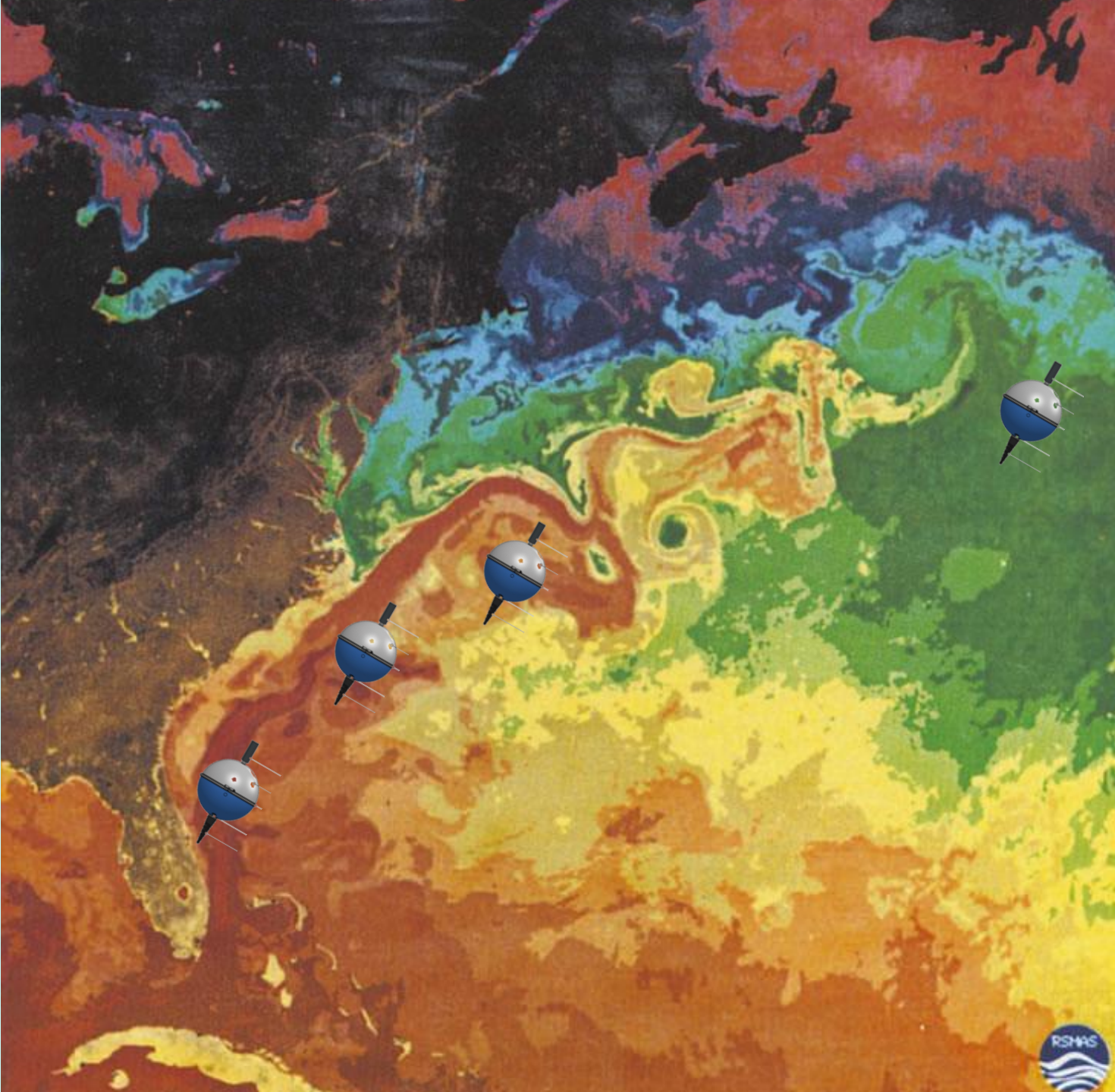
Lumpkin R., ÖzgökmenT., Centurioni L. Advances in the Application of Surface Drifters// *Annual Review of Marine Science*.2017.V.9. N.1. pp. 59–81.

Vallès I., Pelegri J. L., Salvador J., Font J., Roget E. Detection of drogue loss events from drifter positioning data // *Conference IV Encuentro Oceanografía Física Española (EOF 2016)*. July. 2016. pp. 138-140.

Спасибо за внимание



*Мельников Василий Андреевич,
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН,
Тел. 916 241 87 16, vmelnikov@ocean.ru*



ADLER
MOLLER
RozOVSKII.
Stochastic
Modelling in
Physical
Oceanogra
phy, 1996

