

10 Мониторинг магнитного поля на обсерваториях ИКИР ДВО РАН. Локальные эффекты в магнитных данных

10.1 Методы обработки и анализа магнитных данных

10.1.1 Алгоритм выделения техногенных помех в регистрируемых геомагнитных данных

На основе совмещения непрерывного вейвлет-преобразования с пороговыми функциями разработан алгоритм идентификации и выделения помех техногенного характера и природных возмущений в регистрируемых данных геомагнитного поля [1, 2, 3]. Осуществлена программная реализация алгоритма в системе Matlab, что позволяет его использовать для предварительной обработки регистрируемых магнитных данных магнитологом.

В процессе исследования оценивались проявления техногенных возмущений в Z компонентах в положительной и отрицательной областях вейвлет-коэффициентов (рисунок 10.1).

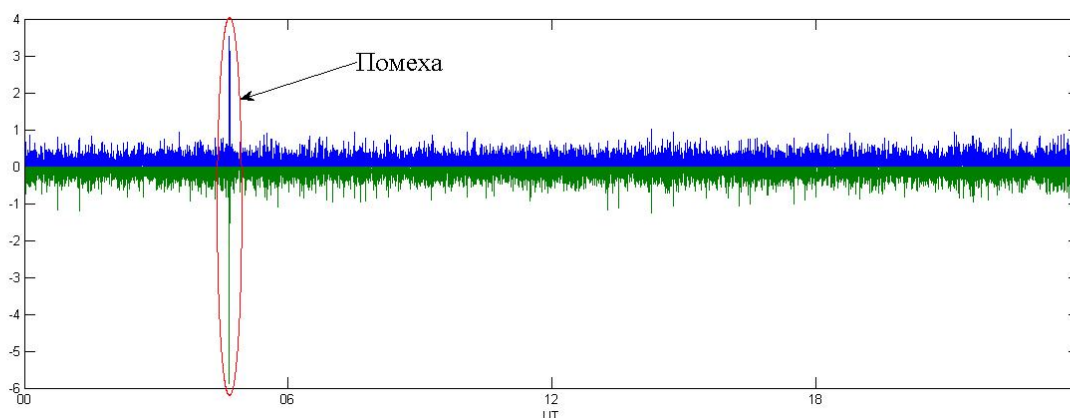


Рисунок 10.1 — Интенсивность помехи в Z компоненте вариации геомагнитного поля за 01.01.2014 в положительной области вейвлет-коэффициентов (верхняя часть) и в отрицательной области (нижняя часть).

Были проанализированы данные за период с 01.01.2014 по 07.06.2014. В этих данных содержалось 53 помехи, которые проявились сразу в H , D и Z компонентах геомагнитного поля и 45 помех, которые проявились только в Z компоненте. В качестве базисных вейвлетов использовалось семейство вейвлетов Добеши (функция `db3`). Для положительной и отрицательной области при анализе данных были подобраны пороги, которые не допускают ложных срабатываний и выполнено сравнение интенсивности помехи в положительной и отрицательной области с полученными порогами.

На рисунке 10.2 показаны результаты автоматического выделения помехи на основе такого подхода. На рисунке красным цветом показаны точки, которые удалены на основе превы-

шения порога в положительной области, а зеленым - на основе превышения порога в отрицательной области.

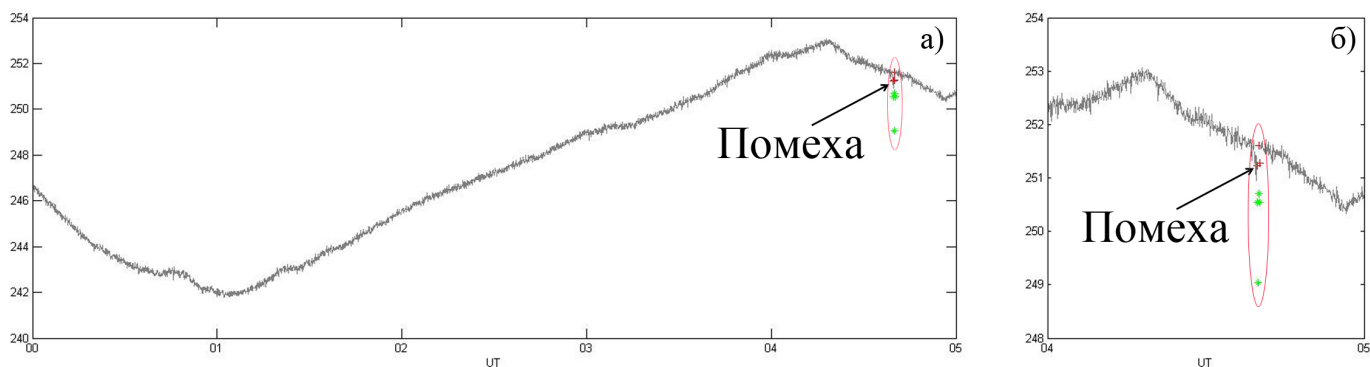


Рисунок 10.2 — Результаты автоматического выделения помехи в Z-компоненте вариации геомагнитного поля за 01.01.2014: а) фрагмент Z-компоненты с 00 до 05 UT; б) укрупненный фрагмент с 04 до 05 UT.

Полученные таким образом результаты показали, что амплитуда помех в отрицательной области заметно больше. В некоторых случаях в положительной области встречаются заметные пики, которые судя по всему помехами не являются, при этом в отрицательной области они не проявляются. Результаты выявления помех в положительной и отрицательной областях вейвлет-коэффициентов приведены в таблице 10.1. При рассмотрении интенсивности помех без разделения на положительную и отрицательную области ([2]) результат выявления помех, проявившихся во всех компонентах, был таким же, а проявившихся только в Z-компоненте - на 2,22% выше. Таким образом, отрицательная область является более информативной для задачи выделения техногенных помех, что было учтено в алгоритме.

Таблица 10.1 — Результаты выявления помех

Область	Выявлено помех	
	Проявившихся во всех компонентах	Проявившихся только в Z компоненте
Положительная	30,19%	11,11%
Отрицательная	45,28%	20%

10.1.2 Алгоритм заполнения пропусков в магнитных данных

Обеспечение непрерывности регистрации магнитных данных является важной и сложной задачей для магнитных обсерваторий. Существует целый ряд природных и техногенных воздействий на аппаратуру, которые часто приводят к погрешностям в измерениях. Например, серьезные трудности в получении качественных данных возникают при необходимости проведения профилактических и строительноремонтных работ. Также, в последнее время увеличивается воздействие промышленных помех на измерительную аппаратуру выше предельных норм

[1, 4, 5]. Удаление помех наиболее трудоемкая операция, которая проводится как автоматически, так и вручную и не всегда она выполнима. Полученные пропуски в данных являются безвозвратными и не дают возможности выполнить анализ данных.

Для заполнения пропусков в магнитных данных разработан алгоритм, основанный на сплайн-интерполяции. Преимущества интерполяции сплайнами по сравнению с обычными методами интерполяции – в сходимости и устойчивости вычислительного процесса. Алгоритм включает следующие основные операции:

1. Определение интервалов с пропусками в данных;

2. Расчет коэффициентов интерполирующего сплайна для каждого интервала. На интервалах с небольшим количеством пропусков используется сплайны 4-го порядка, в остальных случаях линейный сплайн.

3. Восстановление пропущенных значений функции (заполнение пропусков данных).

Пусть на отрезке $[a, b]$ задана сетка точек $\{x_i | x_0 = a < x_1 < x_2 < \dots < x_k = b\}$, которая делит $[a, b]$ на k отрезков $[x_{i-1}, x_i], i = 1, 2, \dots, k$. Сплайном n -го порядка называется функция

$$s^n(x) = P_n^i = a_{0i} + a_{1i}x + a_{2i}x^2 + \dots + a_{ni}x^n,$$

где коэффициенты a_{ji} определяются на отрезке $[a, b]$ так, что функция $s^n(x)$ на отрезке $[a, b]$ имеет $n - 1$ непрерывных производных.

Используя данные горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в работе оценивалась погрешность аппроксимации для сплайнов n -го порядка по формулам:

$$\tau(n) = m(s^n(x) - f(x)),$$

где m - выборочное среднее. Также оценивалась потеря как

$$\epsilon(n) = \frac{\|s^n(x) - f(x)\|}{\|f(x)\|}.$$

В таблице 10.2 и 10.3 представлены результаты оценки погрешности

Таблица 10.2 — погрешность сплайн-интерполяции при наличии двух пропусков

n	Кол-во пропусков	$\tau(n)$, нТл	$\epsilon(n)$
1	2	0,231473343	0,000011%
2	2	0,235888734	0,000012%
3	2	0,198689218	0,00001%
4	2	0,195116829	0,00001%

Таблица 10.3 — погрешность сплайн-интерполяции при наличии двух пропусков

n	Кол-во пропусков	$\tau(n)$, нТл	$\epsilon(n)$
1	10	0,625047193	0,000034%

Продолжение таблицы 10.3

1	2	3	4
2	10	0,833964407	0,000044%
3	10	0,712911931	0,000039%
4	10	0,674526354	0,000037%

На рисунке 10.3 представлены результаты сплайн интерполяции линейным сплайном и сплайном 4-го порядка. Результаты оценок показали, что при небольшом количестве пропусков наименьшую погрешность дает сплайн 4-го порядка. Если количество пропусков больше 7-ми, то лучшие результаты показывает сплайн 1-го порядка.

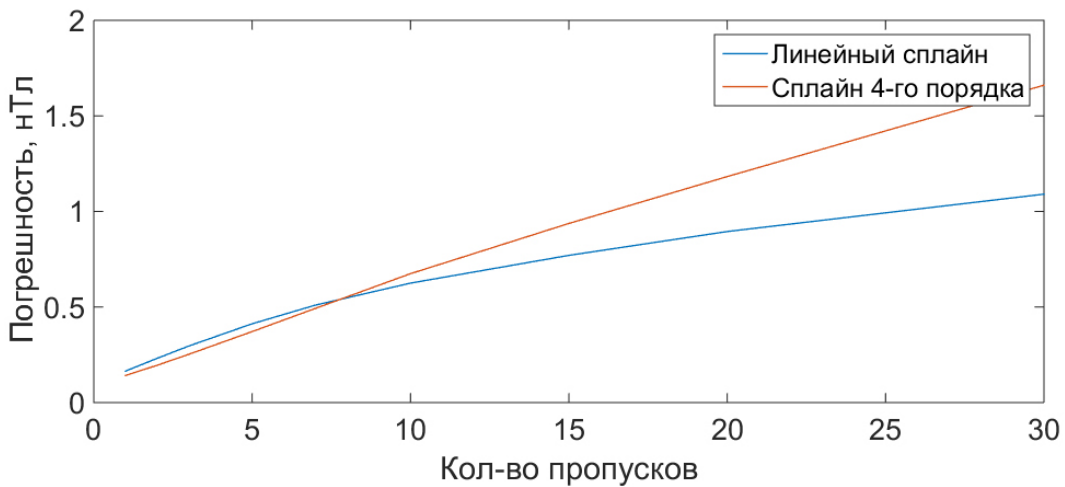


Рисунок 10.3 — Погрешность $\tau(n)$ заполнения пропусков сплайн интерполяции 1-го и 4-го порядков

Оценка получаемого риска выполнялась по формуле:

$$r(n) = m(\max_b(|e_{b,a}^{s^n}| - |e_{b,a}|)),$$

где m -выборочное среднее, $e_{b,a} = (W_{\Psi}f)(b,s)$ - интенсивность геомагнитных возмущений на анализируемом масштабе a в момент времени $t = b$, $e_{b,a}^{s^n} = |(W_{\Psi}^{s^n})(a,b)|$ - интенсивность геомагнитных возмущений после заполнения пропусков данных на основе сплайна s^n порядка n .

Абсолютные значения полученных вейвлет-коэффициентов характеризуют интенсивность геомагнитных возмущений [6]. Таким образом, исследовались максимальные отклонения вейвлет-коэффициентов после процедуры заполнения пропусков, которые могут приводить к выделению “ложных” периодов повышенной геомагнитной активности [6]. Погрешность оценивалась на основе

$$r^{max}(n) = \max_a(\max_b(|e_{b,a}^{s^n}| - |e_{b,a}|)).$$

На рисунке 10.5 представлена погрешность $r(n)$ после процедуры заполнения пропусков линейным сплайном и сплайном 4-го порядка

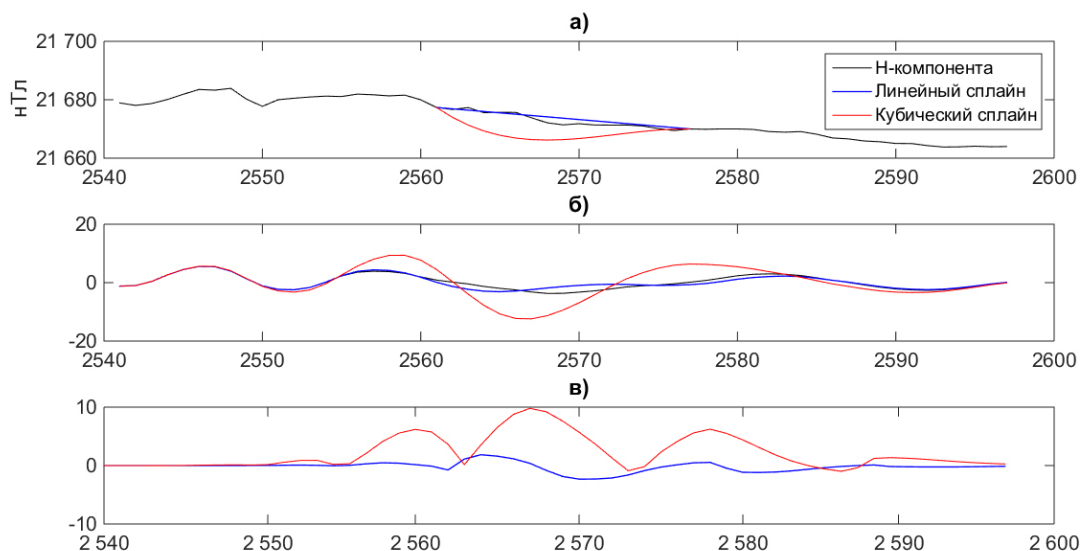


Рисунок 10.4 — Погрешность вейвлет-анализа при заполнении 15-ти пропусков в данных методами сплайн-интерполяции а) N-компонента магнитного поля Земли; б) полученные вейвлет-коэффициенты на основе непрерывного вейвлет-разложения на 20-м масштабном уровне; в) отклонение абсолютных значений вейвлет-коэффициентов исходного сигнала от коэффициентов интерполируемого

В результате линейный сплайн показал наибольшую эффективность, так как не вносит существенных погрешностей в результаты вейвлет-анализа после процедуры заполнения пропусков. Данный алгоритм заполнения пропусков реализован в системе анализа геомагнитных данных Aurora (<http://www.ikir.ru:8280/lserver/MagneticPage.jsp>).

Анализ распределения интенсивности геомагнитных возмущений в период магнитных бурь

На основе предложенных в работе [7] методов анализа геомагнитных данных выполнена обработка данных сети станций на Северо-востоке России (табл. 10.4). Для анализа процессов в магнитосфере на приэкваториальных широтах использовались данные индийских станций НУВ «Хайдарабад» и CPL «Choutuppal» (табл. 10.4). Ниже детально представлены результаты обработки данных в период магнитных бурь 7 января и 17 марта 2015 г.

Таблица 10.4 — Обсерватории, данные которых использовались

Обсерватория	Код IAGA	Географ. широта	Географ. долгота	Геомагн. широта	Геомагн. долгота	Местное время (LT)
о.Котельный (1)	КТН	76°00.0'	137°52.6'	66°44.4'	162°00.0'	UTC+09
Чокурдах (1)	СНД	70°37.0'	147°52.6'	62°8.4'	152°36.6'	UTC+11
Тикси (1)	ТИХ	65°44.2'	150°53.0'	54°16.2'	146°14.4'	UTC+09

Продолжение таблицы 10.4

Обсерватория	Код IAGA	Географ. широта	Географ. долгота	Геомагн. широта	Геомагн. долгота	Местное время (LT)
Якутск (1)	YAK	62°02.1'	129°42.1'	52°26.4'	163°13.8'	UTC+09
Магадан (2)	MGD	59°33.1'	150°48.3'	51°32.4'	146°2.4'	UTC+11
Паратунка (2)	PET	52°58.3'	158°15.0'	45°51.6'	137°57.6'	UTC+12
Хабаровск (2)	KHB	48°29.0'	135°04.0'	39°15'	15°48.6'	UTC+10
Хайдарабад (3)	HYB	17°22'00'	78°28'00'	8°50'00'	151°78'00'	UTC+05:30
Choutuppal (3)	CPL	17°17.33'	78°55'	8°37.2'	152°34.8'	UTC+5:30

Примечание: в скобках указана принадлежность обсерватории(1) - ИКФИА СО РАН, (2) - ИКИР ДВО РАН, (3) - CSIR-National Geophysical Research Institute.

Анализируемое событие 7 января 2015г. вызвано корональным выбросом солнечного вещества (СМЕ от 4 января, <http://ipg.geospace.ru/space-weather-review/>), буря имела классический характер с четко выраженными основными фазами в Dst-вариации (рис. 10.6 с). На рис. 10.6 показаны результаты выделения возмущений и оценки их интенсивности в период 06.01.2015г., 07.01.2015г. Анализ показывает плавное возрастание интенсивности геомагнитных возмущений (рис. 10.6 b) в период начальной фазы бури, Dst-индекс имел положительные значения. Максимум интенсивность возмущений достигла в период существенного понижения Dst-индекса и возрастания AE и AL индексов, характеризующих возникновение интенсивной суббури в авроральной зоне.

Результаты выделения пульсаций Pi2 и Pi3 показывают их возникновение в моменты начала магнитной бури на всеанализируемых станциях, наибольшая интенсивность пульсаций в начальную фазу бури наблюдается на станциях, расположенных южнее. В период завершения главной фазы бури интенсивность пульсаций Pi2 и Pi3 возросла на станциях высоких широт и вблизи авроральной зоны, и одновременно возросли значения AE и AL индексов (рис. 10.7).

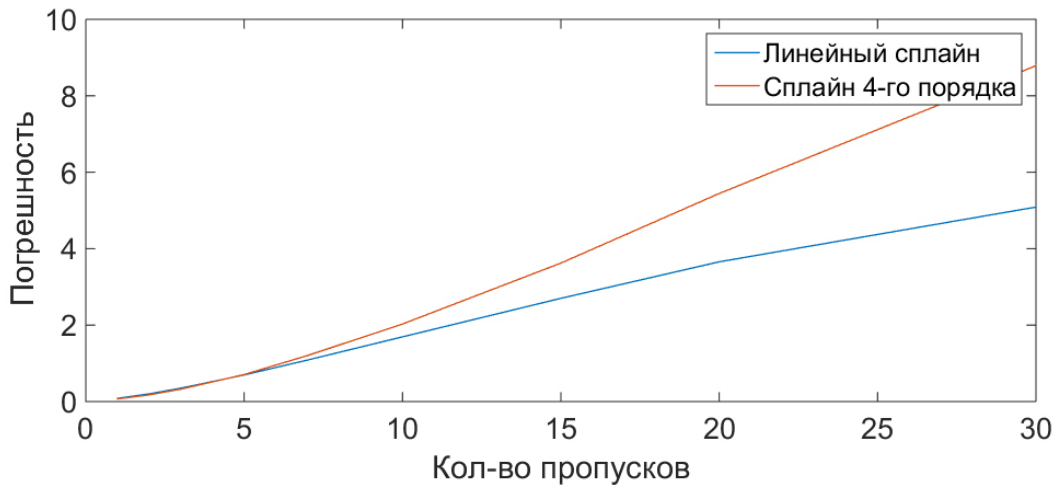
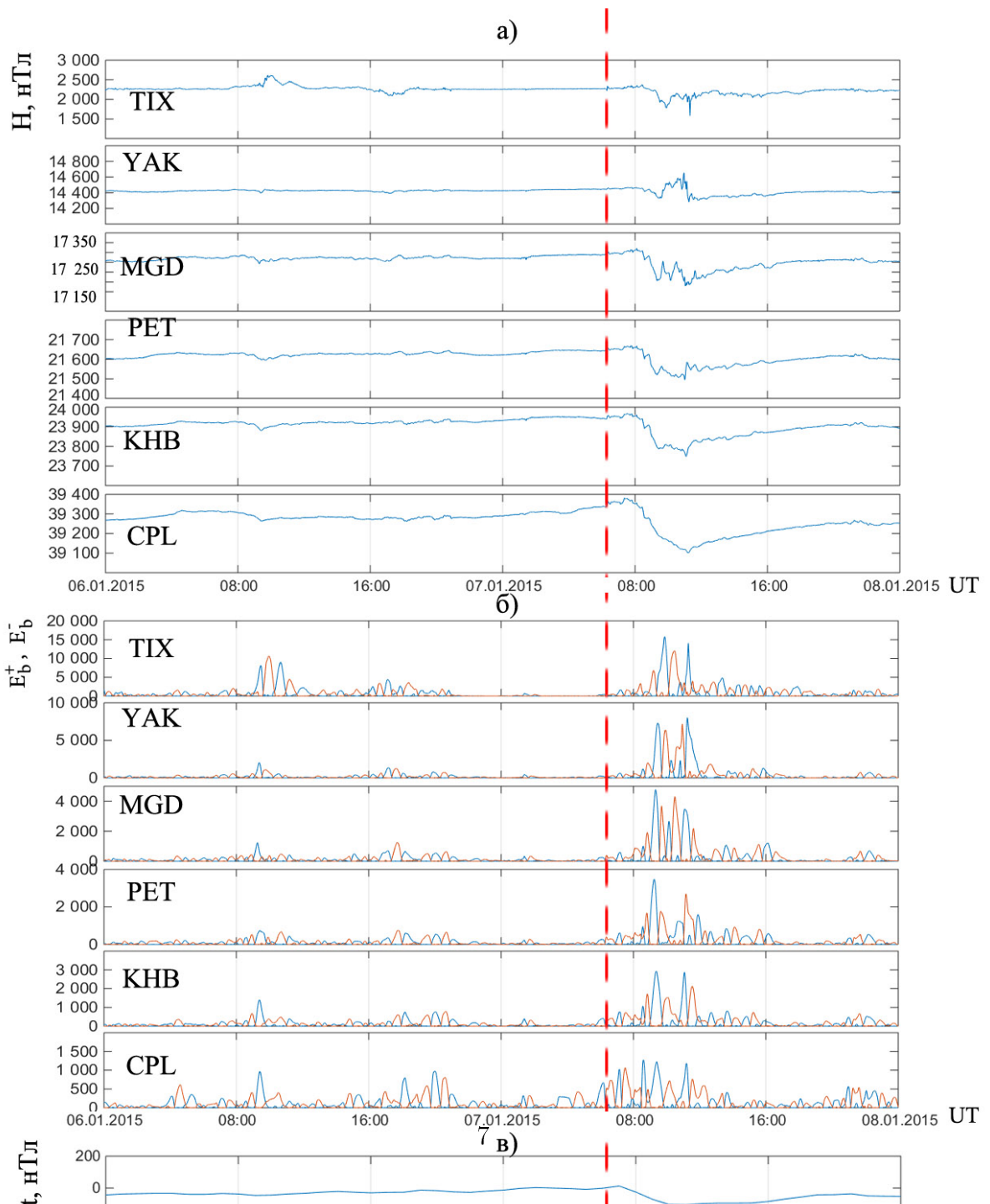


Рисунок 10.5 — Погрешность вейвлет-анализа после заполнения пропусков сигнала



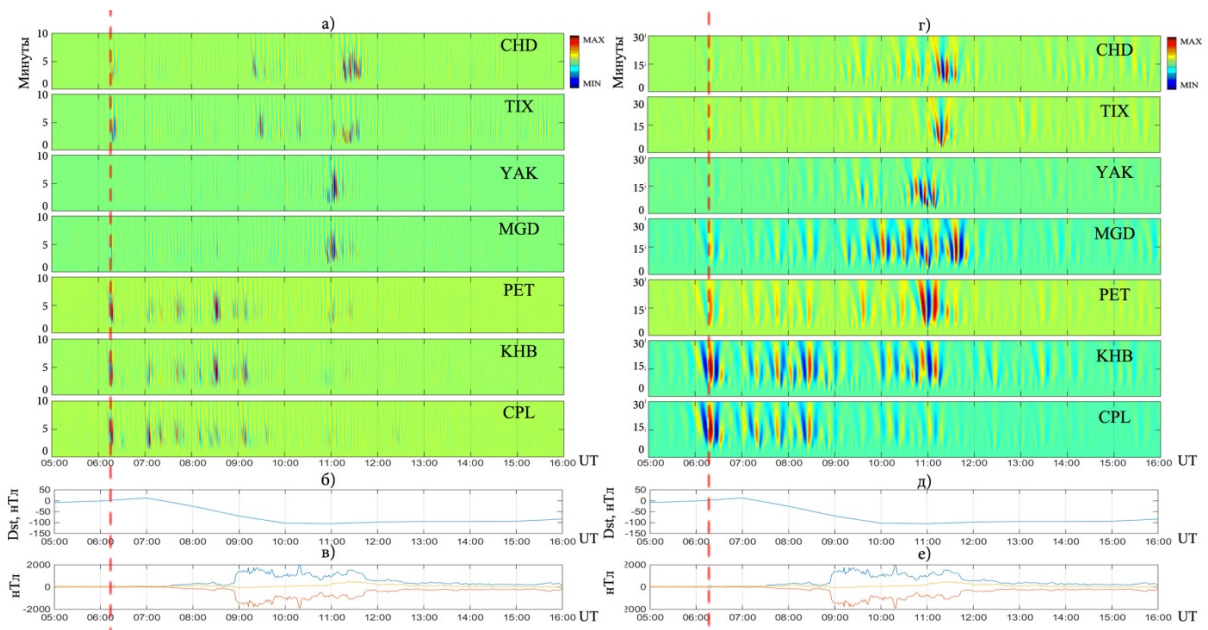


Рисунок 10.7 — Результаты обработки данных в период с 05:00 UT по 16:00 UT 07 января 2015г.: а) вейвлет-спектр пульсаций P12; б) Dst-индекс; в) Индексы AE (синяя линия), AU (желтая линия), AL (красная линия); г) вейвлет-спектр пульсаций P13; д) Dst-индекс; е) Индексы AE (синяя линия), AU (желтая линия), AL (красная линия). Пунктирной линией отмечен момент начала магнитной бури

Представленный на рис. 10.8 вейвлет-спектр интенсивности геомагнитных возмущений (вейвлет-портрет бури) показывает полную картину динамики возмущений в анализируемых районах в период события. Анализ показывает, что во время бури динамика возмущений имела общий характер, что, вероятно, характеризует крупномасштабные процессы в магнитосфере (накопление, перераспределение и сброс энергии). В начальную фазу бури наиболее сильные возмущения в широком диапазоне частот (периоды колебаний от нескольких секунд до нескольких часов) наблюдаются на приэкваториальной станции CPL. Во время главной фазы бури четко выделяются три наиболее активных периода. С 7:00 UT до 8:30 UT на приэкваториальной станции CPL наблюдаются положительные возмущения высокой интенсивности (показаны на рис. 10.8 красным цветом), со смещением по времени около получаса они возникают на средних широтах (станции YAK, MGD, PET, KHB), и далее со смещением ещё на полчаса - на высоких широтах (станции CHD и TIX). Спектр возмущений имеет сложную структуру, наблюдается возрастание амплитуд, расширение и смещение спектра в область высоких частот, что, вероятно, связано с накоплением энергии в магнитосфере и ее сбросом в моменты экстремумов. С 8:30 UT на приэкваториальной станции CPL возникают отрицательные возмущения (показаны на рис. 10.8 а синим цветом), пространственно-временное распределение которых имеет аналогичный характер. Третий активный период характеризуется положительными возмущениями, которые возникают, примерно, в 9:30 на станциях вблизи авроральной зоны (станции PET, MGD, YAK), и далее наблюдается их смещение на приэкваториальные (с задержкой около

15 мин) и высокие (с задержкой около 30 мин) широты. Также в вейвлет-портретебури выделяются следующие локальные особенности. В районе экватора (станции CPL) в период с 7:00 до 9:00 наблюдаются локальные активные процессы (показаны на рис. 10.8 а пунктиром), которые совпадают с вариациями малой амплитуды ММП. На станциях MGD и YAK в период с 9:30 до 10:30 также выделяются активные области (показаны на рис. 10.8 пунктиром), которые, очевидно, связаны с процессами в авроральной зоне. В период возрастания значений AE и AL индексов наиболее сильные возмущения широкого диапазона частот (периоды колебаний от нескольких секунд до нескольких часов) возникали на высоких широтах (станция CHD и TIX).

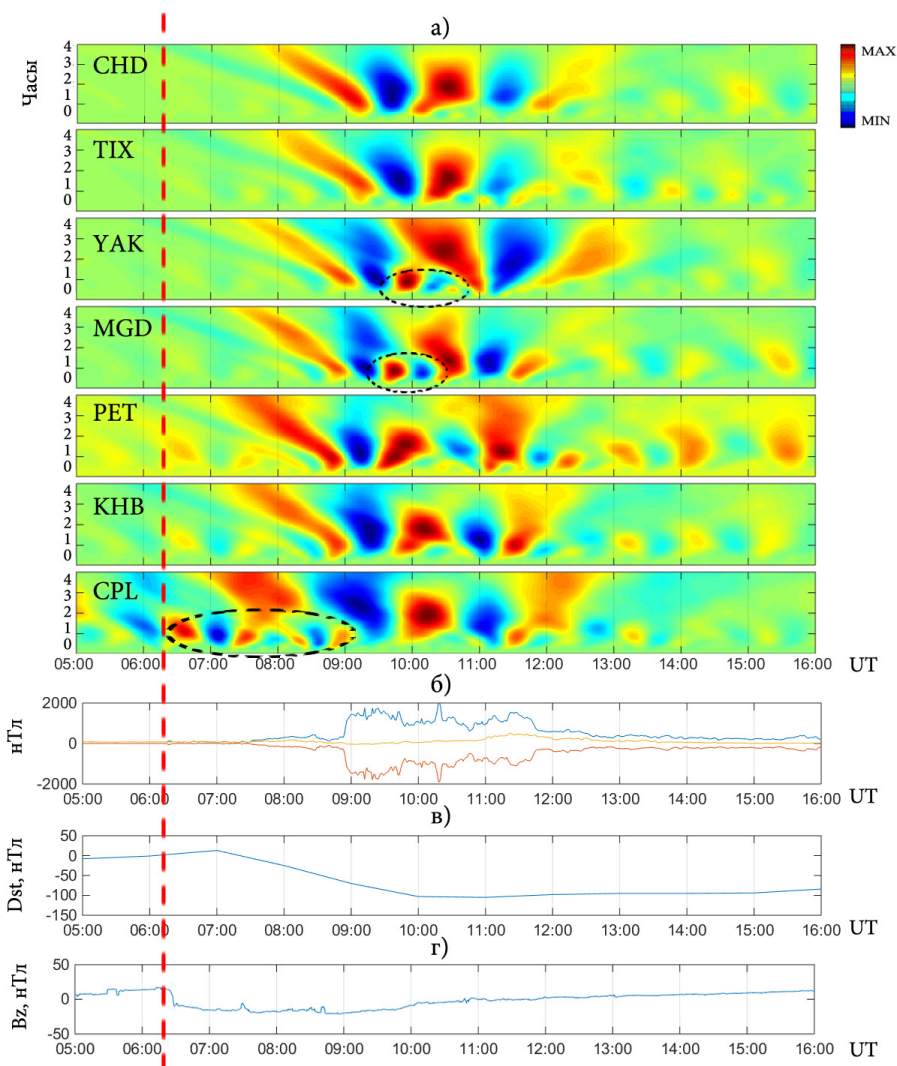


Рисунок 10.8 — Результаты обработки данных в период с 05:00 UT по 16:00 UT 07 января 2015 г. а) вейвлет-спектр интенсивности геомагнитных возмущений; б) индексы AE (синяя линия), AU (желтая линия), AL (красная линия); в) Dst-вариация; г) Vz компонента межпланетного магнитного поля (спутник ACE). Пунктирной линией отмечен момент начала магнитной бури

На рис. 10.9 представлена обработка данных в период второй магнитной бури 17 марта 2015 года, которая также была вызвана выбросом корональной массы солнечного вещества (CME от 15 марта). На станции MGD магнитная буря началась со слабого возрастания интен-

сивности геомагнитны возмущений и имела более резкое начало на других станциях. Накануне события на станции РЕТ в локальные моменты времени наблюдается незначительное возрастание геомагнитной активности. Максимальных значений интенсивность возмущений достигала в период существенного понижения Dst-индекса.

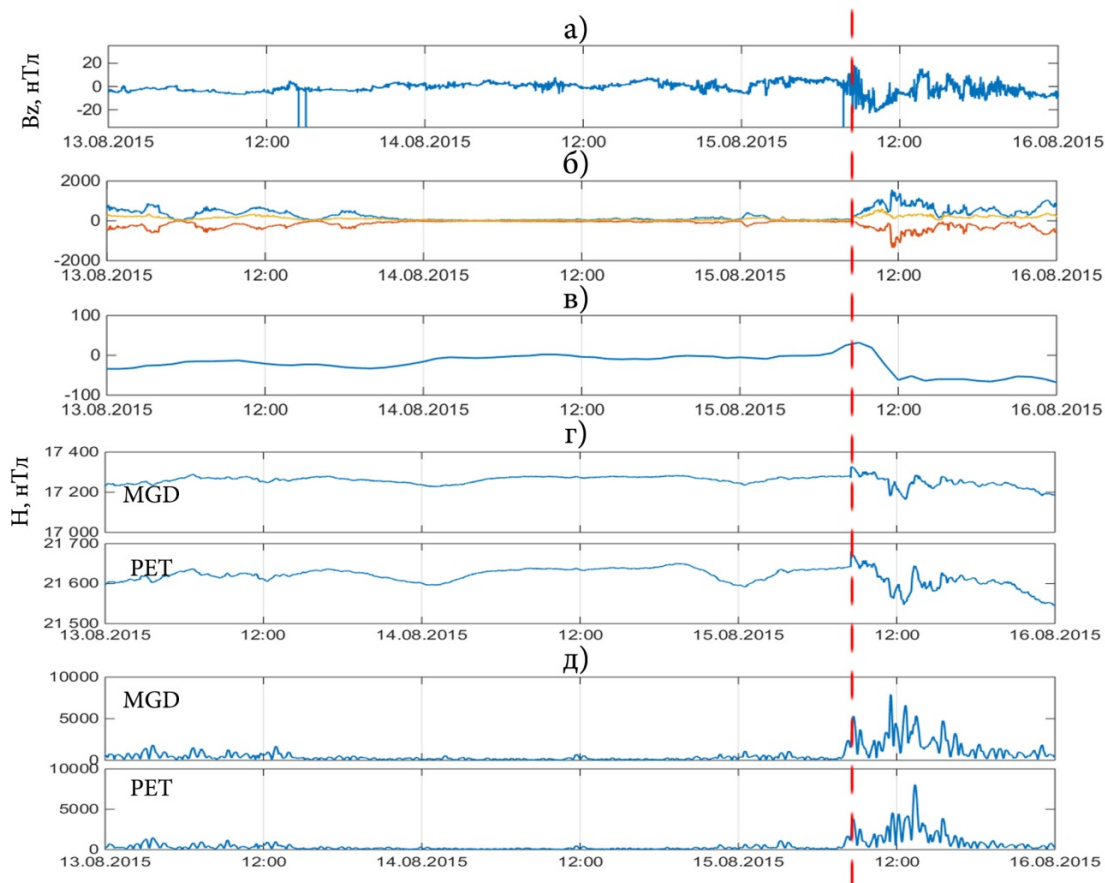


Рисунок 10.9 — Результаты обработки данных в период с 15 по 18 марта 2015 года г.: а) Vz-компонента межпланетного магнитного поля, б) индексы AE (синяя линия), AU (желтая линия), AL (красная линия); в) H-компоненты магнитного поля Земли; г) Dst-вариация; д) Интенсивность геомагнитных возмущений. Пунктирной линией отмечен момент начала магнитной бурь

Вейвлет-спектр интенсивности геомагнитных возмущений показывает общую картину протекания события, динамика которого имеет аналогичный характер с рассмотренным выше событием (рис. 10.10). Возрастание интенсивности возмущений на всех станциях происходило в окрестностях особых точек (точки локальных экстремумов, перегиба) Dst-вариации (04:00-05:00; 08:00-10:00 UT, после 13:00 UT), что подтверждает высказанную выше гипотезу о происходящих в эти моменты времени активных процессах в магнитосфере.

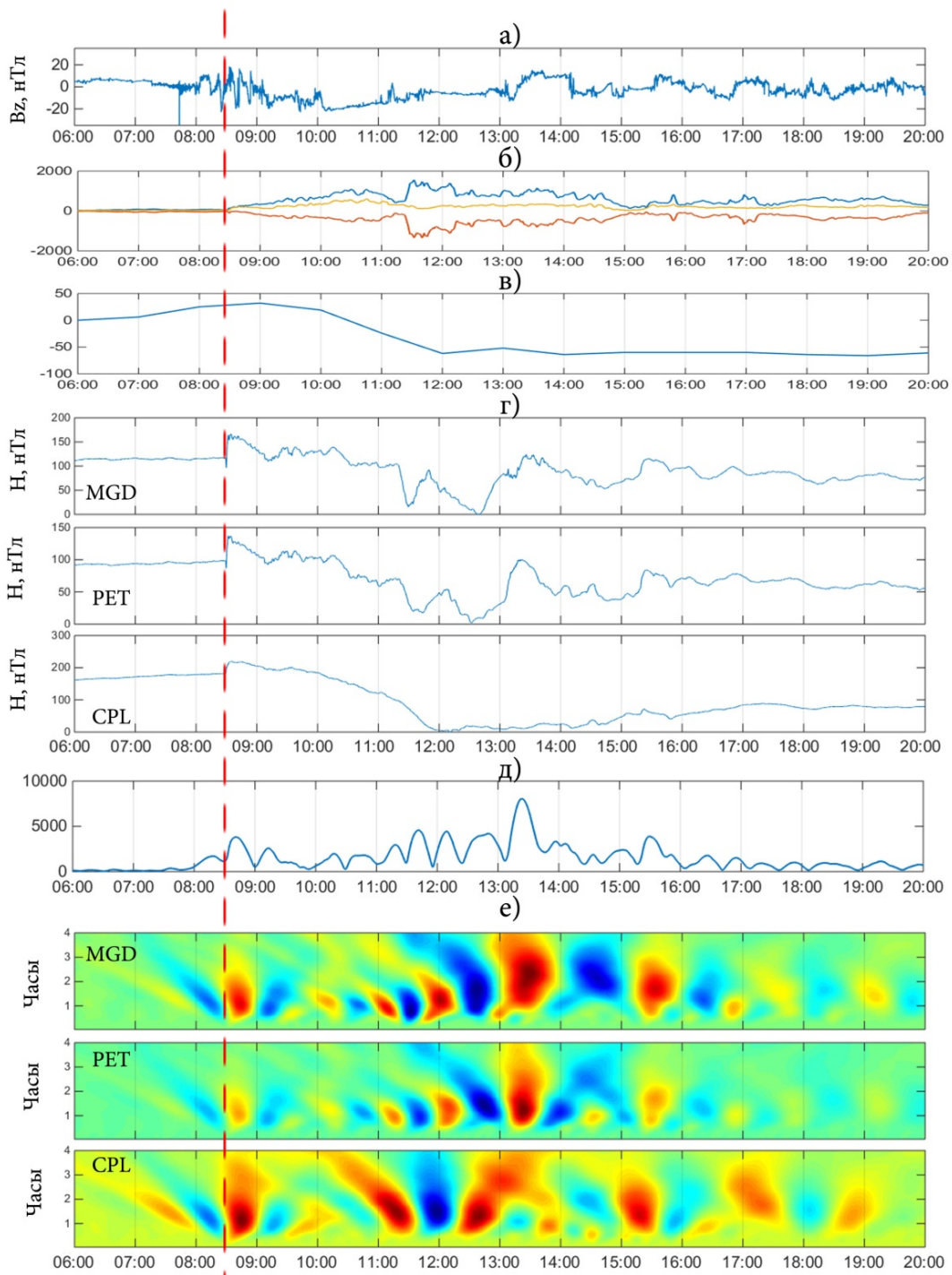


Рисунок 10.10 — Результаты обработки данных в период с 03:00 UT по 18:00 UT 17 марта 2015 г. а) V_z -компоненты межпланетного магнитного поля; б) индексы AE (синяя линия), AU (желтая линия), AL (красная линия); в) Dst-вариация; г) H-компоненты магнитного поля Земли; д) интенсивность геомагнитных возмущений (станция Паратунка); е) вейвлет-спектр интенсивности геомагнитных возмущений; Пунктирной линией отмечен момент начала магнитной бури

10.2 Проведение мониторинга магнитного поля

В 2017 г. на Геофизических обсерваториях (ГФО) ИКИР ДВО РАН "Паратунка", "Магадан", "Хабаровск" и "Мыс Шмидта" продолжались непрерывные наблюдения за магнитным полем Земли.

10.2.1 Аппаратура, инфраструктура, условия измерений

ГФО "Паратунка"

Вариационные измерения выполняются с помощью феррозондового компонентного вариометра FGE-DTU (Дания, компоненты H,D,Z, периодичность 0.5 с) с карданным подвесом блока датчиков, Оверхаузеровского скалярного магнитометра GSM-90 (Канада, модуль поля F, периодичность 5 с) и регистратора MAGDALOG (Германия), установленных в вариационном павильоне (аппаратура предоставлена Потсдамским центром Гельмгольца Немецкого исследовательского центра по геонаукам, Германия). В качестве резервной аппаратуры для заполнения пропусков в данных основных приборов используются компонентный магнитометр dIdD GSM-19FD (Канада, компоненты F,D,I, периодичность 2.5 с, установлен в отдельном павильоне) и скалярный Оверхаузеровский магнитометр POS-1 (Россия, модуль F, периодичность 5 с, установлен в абсолютном павильоне). В некоторых случаях, например, во время близких землетрясений, когда подвешенные на кардане датчики раскачиваются сейсмической волной, пропуски заполнялись данными японского вариометра FRG-601, жёстко связанного с постаментом. Абсолютные наблюдения магнитного склонения D и наклона I выполнялись с помощью fDI-магнитометров LEMI-203 (Украина, основной) и Mag-01H (Великобритания, резервный), наблюдения модуля вектора напряженности поля F - с помощью скалярного Оверхаузеровского магнитометра POS-1 (Россия, основной), в качестве резервного предполагался Оверхаузеровский магнитометр GSM-19W (Канада). Для контроля достоверности получаемых данных и выделения помех использовались результаты измерений с помощью непрерывно работающих магнитометров MAGDAS COLD (Япония, установлен в основном вариационном павильоне) и POS-4 (Россия, отдельный павильон). Все магнитометры, накопители и регистрирующие ПК имеют системы бесперебойного питания, обеспечивающие автономную работу в течении нескольких часов. Таймеры магнитометров, за исключением POS-4, синхронизируются с UTC с помощью встроенных GPS-приёмников.

В 2017 г. изменений в инфраструктуре, обеспечивающей проведение магнитного мониторинга, не было: ремонт в павильонах не проводился, системы обогрева и электроснабжения не менялись, новые строения не появились. В течение года выполнялся плановый перевод температурного режима в вариационном павильоне с зимнего на летний (температура в павильоне повышалась до уровня срабатывания терморегулятора) и обратно (температура понижалась), что вызвано ограниченной мощностью нагревательных элементов в павильоне.

Температура во всех павильонах и наружная контролируется с помощью сети цифровых термодатчиков DS18B20, запись показаний датчиков ведётся с периодичностью 5-10 с. С помощью цифровых метеостанций Davis Vanage Pro и WS2000 фиксируются метеопараметры (влажность, давление, скорость и направление ветра, уровень осадков).

Подробное описание наблюдательной базы и инфраструктуры представлено в [8]. Фотографии основных павильона показаны на рисунке 10.11.

ГФО "Хабаровск"

Вариационные измерения выполняются с помощью компонентного вариометра dIdD GSM-19FD (Канада, элементы F,D,I, периодичность 2.5 с) с карданным подвесом колечной системы и датчика и скалярного Оверхаузеровского магнитометра POS-1 (Россия, модуль F, периодичность 5 с). В качестве резервных вариометров используются кварцевые станции ЦМВС "Кварц-6" (Россия, компоненты H,D,Z, периодичность 1 с) и ЦАИС (Россия, компоненты H,D,Z, периодичность 0.2 с) и Оверхаузеровский магнитометр GSM-19W (Канада, модуль F, периодичность 5 с). Абсолютные наблюдения магнитного склонения D и наклона I выполняются с помощью fDI-магнитометра Mag-01H (Великобритания), модуля поля F - с помощью скалярного Оверхаузеровского магнитометра POS-1 (Россия). В качестве резервных приборов предполагаются fDI-магнитометр ТТ-5 и Оверхаузеровский магнитометр GSM-19W (Канада). Все магнитометры, накопители и регистрирующие ПК подключены к единой системе бесперебойного питания, обеспечивающие автономную работу в течение нескольких часов. Таймеры магнитометров и регистрирующих ПК синхронизируются с UTC с помощью встроенных (POS-1, GSM-19W и dIdD) и внешних GPS-приёмников (ЦМВС "Кварц" и ЦАИС).

В июне 2017 г. вокруг площадки с магнитными павильона была выкопана водоотводная канава (использовался экскаватор). В июне была отремонтирована входная дверь вариационного павильона, повреждённая при попытке проникновения в павильон. Других изменений в инфраструктуре не было. В течение года выполнялось каскадное отключение (весной) и включение (осенью) нагревателей в вариационном и абсолютном павильонах, для поддержания оптимального температурного режима. Температура внутри павильонов и на улице контролируется сетью цифровых датчиков DS18B20, регистрация на ПК выполняется с периодичностью около 10 с.

ГФО "Магадан"

Вариационные измерения выполняются с помощью феррозондового компонентного вариометра FGE-DTU (Дания, компоненты H,D,Z, периодичность 0.5 с) с карданным подвесом блока датчиков, Оверхаузеровского скалярного магнитометра GSM-90 (Канада, модуль поля F, периодичность 5 с) и регистратора MAGDALOG (Германия), установленных в вариационном павильоне (аппаратура предоставлена Потсдамским центром Гельмгольца Немецкого ис-

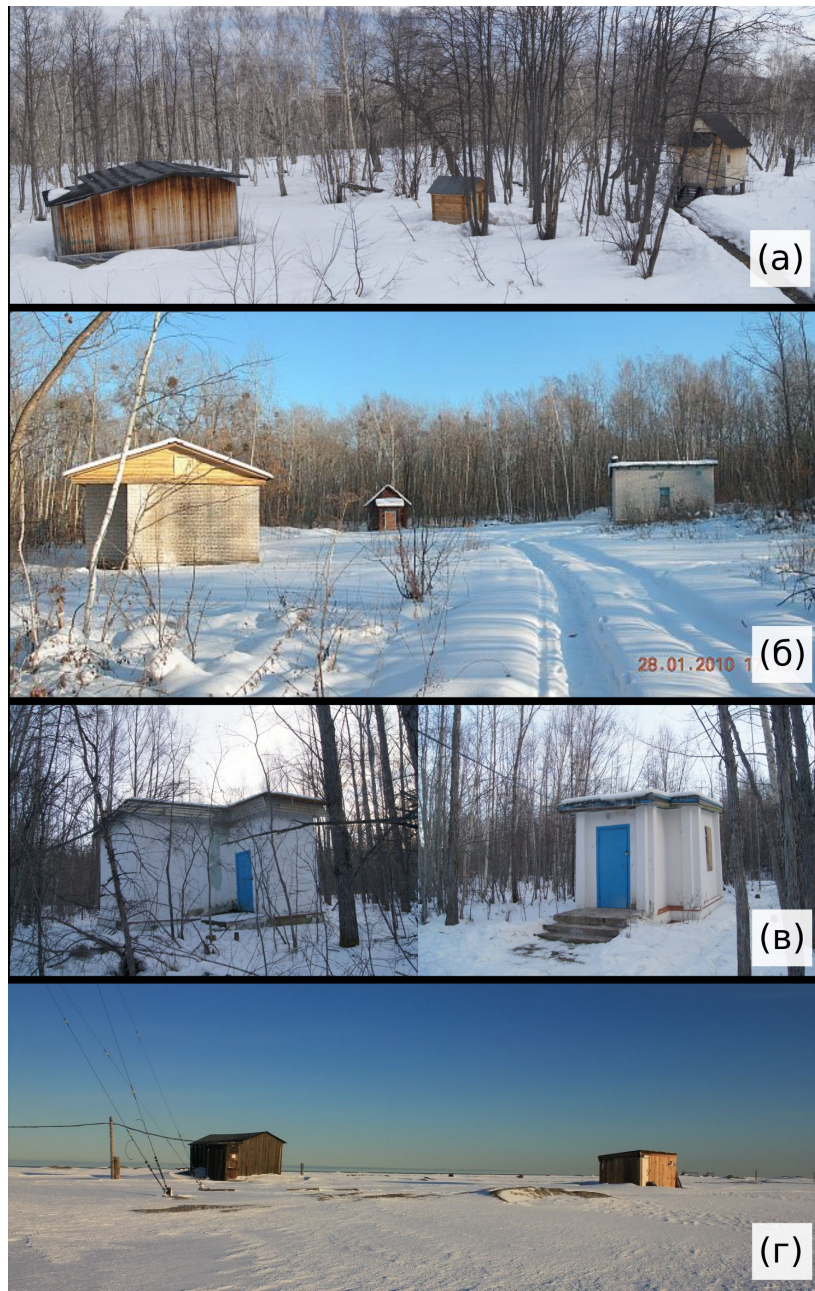


Рисунок 10.11 — Магнитные павильоны на обсерваториях ИКИР ДВО РАН: (а) ГФО "Паратунка" - вариационный (слева) и абсолютный (справа) павильоны, в центре павильон ROS-4; (б) ГФО "Хабаровск" - вариационный (слева), абсолютный (в центре) и технический (справа) павильоны; (в) ГФО "Магадан" - вариационный (слева) и абсолютный (справа) павильоны; (г) ГФО "Мыс Шмидта" - вариационный (слева) и абсолютный (справа) павильоны.

следовательского центра по геонаукам, Германия). В качестве резервной аппаратуры для заполнения пропусков в данных основных приборов используются компонентный магнитометр dIdD GSM-19FD (Канада, компоненты F,D,I, периодичность 2.5 с, установлен в отдельном павильоне) и скалярный Оверхаузеровский магнитометр POS-1 (Россия, модуль F, периодичность 5 с, установлен в абсолютном павильоне). В некоторых случаях пропуски заполнялись данными японского вариометра FRG-601, жёстко связанного с постаментом. Абсолютные наблюдения магнитного склонения D и наклона I выполнялись с помощью fDI-магнитометра на базе немагнитного теодолита Theo-020B (Германия) и феррозондового датчика Model G (Бельгия, основной), наблюдения модуля вектора напряженности поля F - с помощью скалярного Оверхаузеровского магнитометра POS-1 (Россия, основной), в качестве резервного предполагался Оверхаузеровский магнитометр GSM-19T (Канада). Для контроля достоверности получаемых данных и выделения помех использовались результаты измерений с помощью непрерывно работающих магнитометров MAGDAS COLD (Япония, установлен в отдельном боксе) и ЦМВС "Кварц-6" (Россия). Все магнитометры, накопители и регистрирующие ПК имеют системы бесперебойного питания, обеспечивающие автономную работу в течение нескольких часов. Таймеры магнитометров синхронизируются с UTC с помощью встроенных GPS-приёмников.

После падения в мае на вариационный и абсолютный павильоны деревьев во время урагана, крыши и, частично, стены этих строений были отремонтированы. Других изменений в инфраструктуре не было. В течение года выполнялось каскадное отключение (весной) и включение (осенью) нерегулируемых нагревателей в вариационном павильоне, для поддержания оптимального температурного режима. Температура внутри технического павильона и на улице контролируется цифровыми датчиками DS18B20, регистрация на ПК выполняется с периодичностью около 10 с.

ГФО "Мыс Шмидта"

Вариационные измерения выполняются с помощью компонентного вариометра dIdD GSM-19FD (Канада, элементы F,D,I, периодичность 2.5 с) с карданым подвесом колечной системы и датчика и скалярного Оверхаузеровского магнитометра POS-1 (Россия, модуль F, периодичность 5 с). В качестве резервных вариометров используется компонентный феррозондовый магнитометр MAGDAS COLD (Япония, элементы H,D,Z, частота 1 Гц). Для абсолютных наблюдений магнитного склонения D и наклона I имеются fDI-магнитометр Mag-01H (Великобритания), для измерения модуля поля F - скалярный Оверхаузеровский магнитометр POS-1 (Россия). Абсолютные наблюдения полного вектора F на ГФО "Мыс Шмидта" были выполнены в 2015 г., впервые за всю историю обсерватории. Магнитометры, накопители и регистрирующие ПК подключены к единой системе бесперебойного питания, обеспечивающие автономную работу в течение нескольких часов. Таймеры магнитометров и регистрирующих ПК синхронизируются с UTC с помощью встроенных GPS-приёмников. Температурный режим в вари-

ационном павильоне обеспечивается с помощью нерегулируемых обогревателей. Изменений в инфраструктуре в 2017 г. не было.

10.2.2 Программное обеспечение, обработка данных

Управление магнитометрами и сбор первичных данных выполняется практически полностью с помощью программного обеспечения (ПО), прилагаемого разработчиками аппаратуры. Исключение - получение данных на ЦМВС "Кварц" с аналоговым выходом, подключённым к АЦП L-Card. Управление режимами работы этого АЦП выполняется с помощью программы GO32 (разработка С.Э. Смирнова, ИКИР ДВО РАН).

Последующая обработка, включающая работу с первичными данными, анализ их качества, выделение помех, подготовка выходных данных в форматах, требуемых стандартами INTERMAGNET, выполняется на всех обсерваториях ИКИР с помощью ПО, разработанного С.Ю. Хомутовым в рамках нескольких проектов, в т.ч. по НИР Программы ФНИ по теме "Динамика физических процессов в системе ближнего космоса и геосфер" и гранту РФФИ N16-55-45007. ПО реализовано для работы в программных пакетах MATLAB и Octave, работоспособно на ПК с ОС Windows и Linux (после некоторой адаптации). Вся обработка (получение промежуточных и итоговых данных в статусах "Reported", "Adjusted", "Quasi-Definitive" и "Definitive") выполняется непосредственно на обсерваториях. Исключение составляет обсерватория "Мыс Шмидта", на которой в силу кадровых и организационных проблем обработка не выполняется - первичные данные присылаются на ГФО "Паратунка", где они обрабатываются с полнотой, которая возможна в таком режиме.

Практически все получаемые в процессе мониторинга первичные данные архивируются на центральном сервере данных ИКИР, файлы также имеются на регистрирующих ПК и рабочих местах магнитологов-обработчиков.

10.2.3 Результаты измерений

Задержки в передачи данных

Обсерватории - члены INTERMAGNET следуют принятым в этой сети стандартам. Эти стандарты задают допустимые задержки при передаче информации в узлы сбора данных (GIN) INTERMAGNET. Согласно требованиям, обсерватория обязана в течение 3 суток передать данные в статусе Reported (с минимальной предварительной обработкой, допустимо отправлять данные непосредственно с регистрирующих систем магнитометров), в течение следующих семи суток - отправить данные в статусе Adjusted (с исключением помех, заполнением пропусков и с обязательным учётом базисных значений, т. е. полный вектор поля). На GIN в Эдинбурге, куда обсерватории ИКИР отправляют минутные данные, ведётся статистика этих передач, доступная в графическом виде (см. пример на рисунке 10.12).

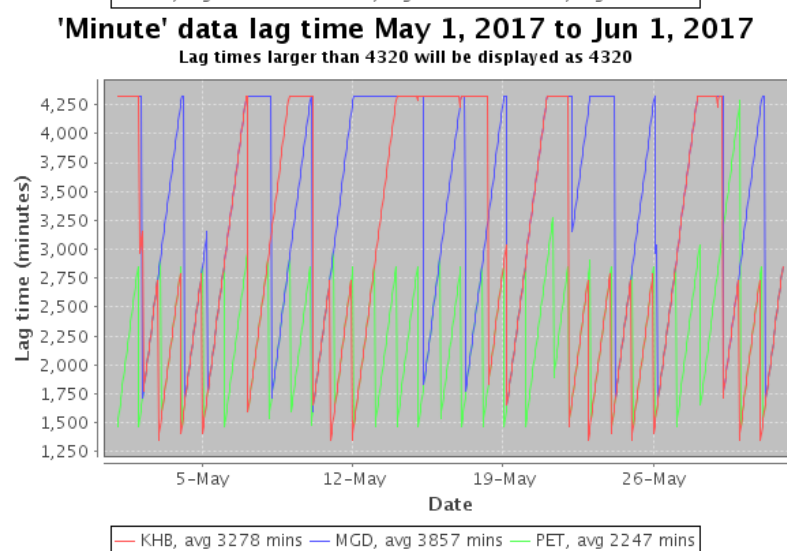
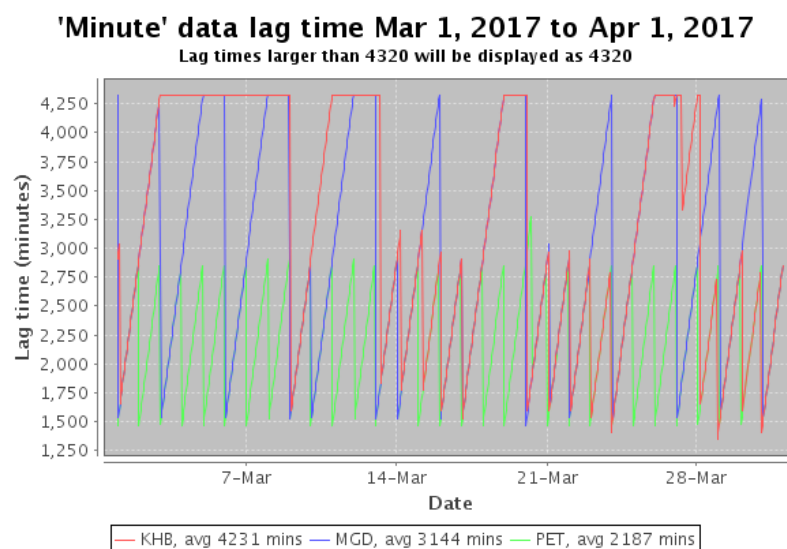


Рисунок 10.12 — Статистика задержек в передаче данных в GIN INTERMAGNET обсерваторий "Хабаровск" (КНВ), "Магадан" MGD и "Паратунка" (PET). Задержки даны в минутах, 1 сут. - 1440 мин. 3 сут. - 4320 мин.

Как видно по графикам, минимальная задержка (временной интервал между последним присланным минутным значением поля и текущим моментом) всех обсерваторий ИКИР составляет около 1 сут. - это значение, которое определено Заключениями ФСТЭК России. Задержки более двух суток связаны с выходными и праздничными днями (на ГФО "Паратунка" из-за специально организованной работы эти факторы сказываются в меньшей мере) и проблемами со связью. Необходимо также отметить следующее: (1) данные ГФО "Паратунка" и "Хабаровск", которые отправляются в статусе "Reported", практически соответствуют статусу "Adjusted", поскольку получены с учётом базисных значений и после чистки помех - поэтому задержки более трёх суток вполне приемлемы; (2) минутные данные обсерватории MGD попадают в GIN через обсерваторию "Нимер" в Потсдаме, в соответствии с международным Соглашением и заключениями ФСТЭК РФ. Это неизбежно увеличивает задержки, а также снижает возможности обсерватории по предварительной обработке данных.

Для сравнения, на рисунке 10.13 представлена сводная статистика задержек по всем обсерваториям, которые пересылают данные в GIN Эдинбурга. Как видно, передача данных обсерваторий ИКИР КНВ, MGD и PET выполняется в соответствии с требованиями INTERMAGNET. В настоящее время в INTERMAGNET разработаны рекомендации обсерваториям предоставлять данные с минимальной задержкой, по сути, в онлайн-режиме, и многие обсерватории мира уже работают в таком режиме.

В последние годы в INTERMAGNET был введён новый тип данных (по статусу) - квази-окончательные (Quasi-definitive). Это было связано с тем, что Adjusted-данные имеют низкую точность по полным значениям составляющих вектора магнитного поля (например, на многих обсерваториях базисные значения приняты постоянными для длительных интервалов времени, от месяца до года), а точные итоговые (Definitive) данные, с многоступенчатой проверкой, становятся доступными только по завершению года, а реально - к концу следующего. В то же время, существует ряд задач, требующих именно полные значения составляющих поля с минимальной задержкой по времени. Это прежде всего необходимо для калибровки магнитометров, установленных на спутниках - в настоящее время осуществляются миссии SWARM (Европейское космическое агентство) и ERG (JAXA, Япония). Кроме того, информация о полном векторе напряжённости поля требуется для оперативного уточнения моделей постоянного магнитного поля Земли. QD-данные обсерваторий INTERMAGNET позволяют решать эти задачи. Задержки с предоставлением этой информации составляют от двух недель до месяца, все три обсерватории ИКИР такие данные получают.

Пропуски в рядах данных

Потери данных при измерениях зачастую неизбежны, по многим причинам. Путей решения этой проблемы также множество. Критерием надёжности работы обсерватории, в общем случае, может быть оценка пропусков в данных, представленных в базах данных INTERMAGNET. Ежедневная статистика объёма присланных данных ведётся в GIN (Эдин-

Average 'minute' data lag time Oct 1, 2017 to Nov 1, 2017

Lag times larger than 4320 will be displayed as 4320

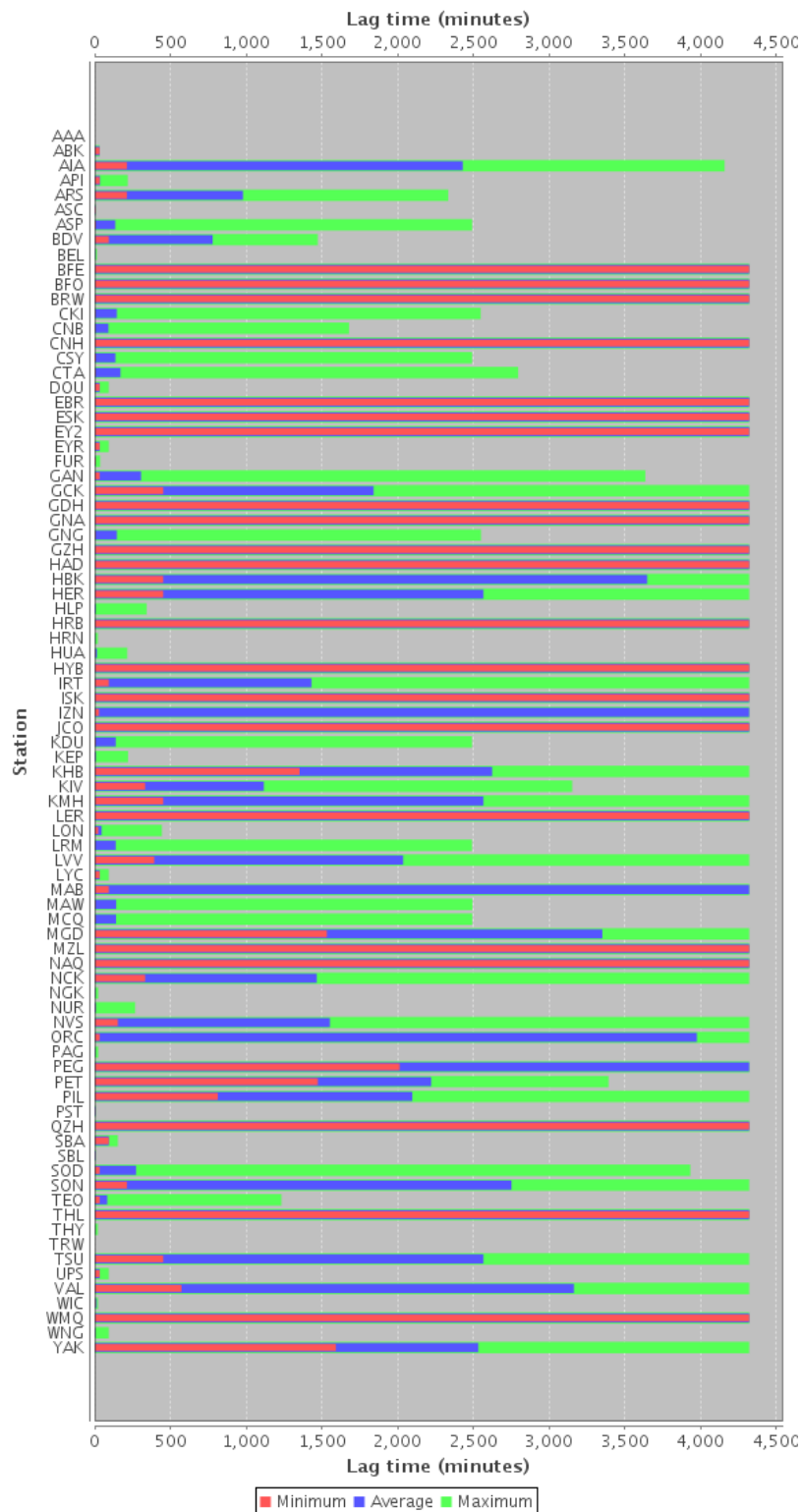


Рисунок 10.13 — Сводная за октябрь 2017 г. статистка передачи данных в GIN INTERMAGNET (Эдинбург) по всем обсерваториям. Показаны минимальные, средние и максимальные задержки в минутах.

бург) - пример вывода этой статистики показан на рисунке 10.14. Пропуски в минутных данных обсерваторий ИКИР с 1 января по 16 октября показаны на рисунке 10.15. Потери в данных PET отсутствуют. Общее количество пропусков обсерватории КНВ за рассмотренный интервал - 785 минутных значений, обсерватории MGD - 215. При полном количестве минутных данных 416160, потери составляют 0.18 и 0.05%, соответственно. Отметим, что реальные пропуски на всех обсерваториях более существенные, однако использование измерений резервных магнитометров зачастую позволяет заполнить значительную часть потерь.

IAGA code	Date	Number of adj-or-rep data points	Number missing	Percentage available	Gap details
PET	01-10-2017	1440	0	100%	
	02-10-2017	1440	0	100%	
	03-10-2017	1440	0	100%	
	04-10-2017	1440	0	100%	
	05-10-2017	1440	0	100%	
	06-10-2017	1440	0	100%	
	07-10-2017	1440	0	100%	
	08-10-2017	1440	0	100%	
	09-10-2017	1440	0	100%	
	10-10-2017	1440	0	100%	
	11-10-2017	1440	0	100%	
	12-10-2017	1440	0	100%	
	13-10-2017	1440	0	100%	
	14-10-2017	1440	0	100%	
	15-10-2017	1440	0	100%	
	16-10-2017	1440	0	100%	
	17-10-2017	0	1440	0%	Gap from 00:00:00 to end of day
	18-10-2017	0	1440	0%	Gap from 00:00:00 to end of day
	19-10-2017	0	1440	0%	Gap from 00:00:00 to end of day
	20-10-2017	0	1440	0%	Gap from 00:00:00 to end of day
	21-10-2017	0	1440	0%	Gap from 00:00:00 to end of day

Рисунок 10.14 — Пример Web-страницы на сайте GIN INTERMAGNET в Эдинбурге (поддерживается Британской геологической службой - BGS) со статистикой пропусков в присланных данных. Данные обсерватории PET с 17 октября на момент подготовки отчёта ещё не пересылались.

Пропуски на обсерватории "Хабаровск" в июне вызваны критическими помехами в магнитных измерениях при работе экскаватора вблизи павильонов (готовилась водоотводная канава), а в октябре - сбоями в общей системе электропитания. Обе причины исключали возможность использовать данные резервных магнитометров. Пропуски обсерватории "Магадан" связаны с задержкой при синхронизации таймера регистратора MAGDALOG по GPS после перезапуска основных магнитометров FGE-GSM90, данные резервного магнитометра не использовались для данных в статусе "Reported".

Статистика потерь минутных данных за 2015-2016 гг. может быть получена по анализу итоговых (Definitive) файлов, подготовленных обсерваториями по завершению соответствующего года для публикации на INTERMAGNET DVD. Количество потерянных минутных значений (в процентном отношении к полному годовому массиву) представлены в таблице 10.5. Основная причина потерь данных КНВ в 2015 г. - помехи в измерениях основного и резервных магнитометров при ремонте вариационного павильона после аварийного разрушения крыши (информация

в течение 20 суток была сильно зашумлена).

Таблица 10.5 — Количество потерянных минутных значений обсерваторий ИКИР (в процентах к полным годовым рядам)

год	КНВ	MGD	РЕТ	CPS
2015	6.46	1.64	0.01	1.69
2016	0.02	1.32	<0.01	11.11
2017	0.18	0.05	0.00	6.20

Примечания:

- 1) оценки за 2017 г. представлены для сравнения, по оперативной информации с GIN INTERMAGNET в Эдинбурге;
- 2) оценки для CPS сделаны по оперативным данным, отправляемым в ГЦ РАН (Москва).

Статистика запросов данных

Большой интерес представляет информация о том, насколько затребованы магнитные данные, представляемые обсерваториями ИКИР на сервер данных INTERMAGNET. Статистика запросов через официальный сайт www.intermagnet.org ведётся по двум направлениям: запросы на получение данных через FTP-сервер и через Web-сервер. Каждая обсерватория INTERMAGNET в первых числах каждого месяца получает email с такой информацией - по сути, это количество суточных файлов минутных данных, которые пользователи получили в INTERMAGNET. При запросах через FTP ведётся учёт реальных пользователей, через Web-сервер - пользователей, при получении данных указавших свой электронный адрес. Соответственно, запросы с FTP в большей степени отражают обмен между серверами данных (система МЦД, ГЦ РАН и т. п.), Web-запросы - реальный интерес конкретных пользователей.

На рисунках 10.16 и 10.17 показана статистика полученных через INTERMAGNET суточных файлов минутных данных обсерваторий КНВ, MGD и РЕТ (разделение по категории данных не делается). Обсерватории КНВ и РЕТ получили статус INTERMAGNET в декабре 2013 г., поэтому запросов до этого времени нет. Каждый столбик гистограммы на рисунках 10.16 и 10.17 - это количество запрошенных суточных файлов за месяц, т. е., например, значение 1000 говорит о том, что всеми пользователями за месяц было скачано 1000 файлов, каждый из которых содержит 1440 минутных значений для трех составляющих вектора поля и его модуля.

Очень большое количество запросов через FTP в конце 2014 и в 2015 гг. связано с тем, что две обсерватории (КНВ и РЕТ) впервые начали предоставлять свои данные, в т.ч. итоговые (Definitive) за 2012 и 2013 г, для обсерватории "Паратунка" в это время были также подготовлены данные Definitive за прошлые годы - с 2007 по 2011, обсерваторией "Магадан" впервые с 2009 г. были подготовлены данные Definitive, за 2012 г. Эти новые данные необходимо было

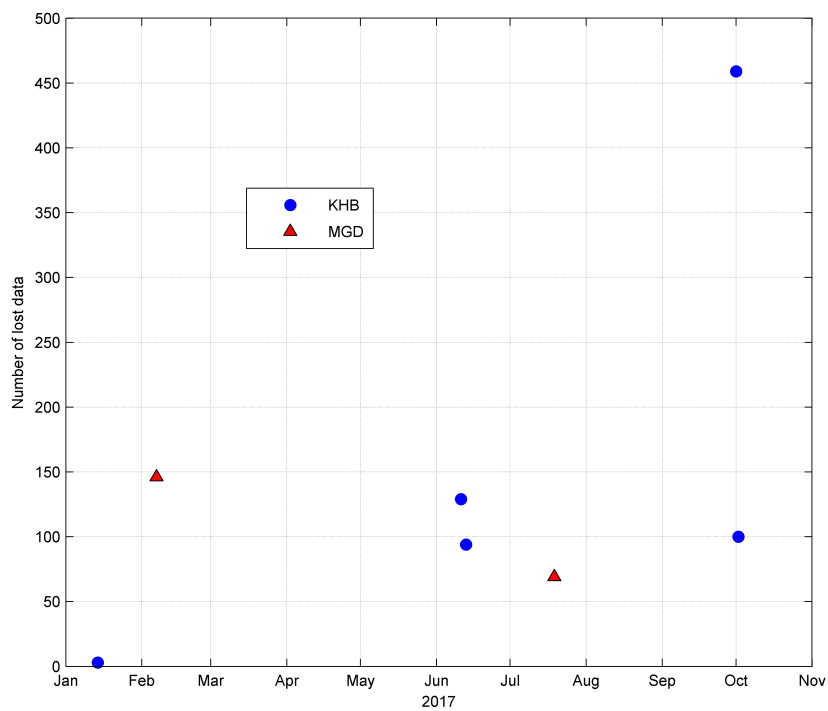


Рисунок 10.15 — Пропуски минутных данных обсерваторий ИКИР (в статусе Reported и Adjusted), отправленных в GIN INTERMAGNET с 1 января по 16 октября 2017 г. Потерь данных PET нет.

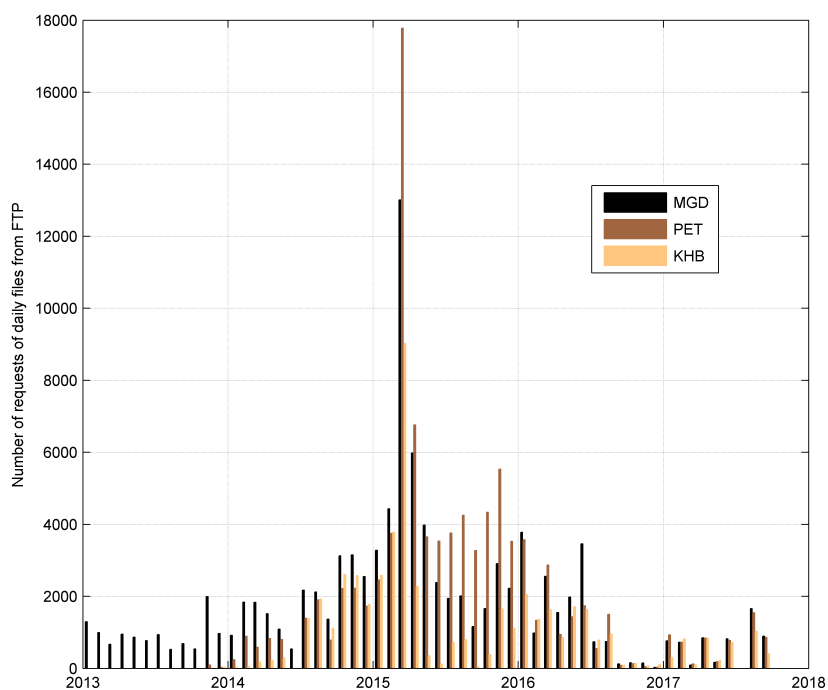


Рисунок 10.16 — Количество суточных файлов (минутных данных) обсерваторий ИКИР, полученных пользователями через FTP-сервер INTERMAGNET в Оттаве (www.intermagnet.org) с января 2013 по сентябрь 2017 гг.

размещать в системе МЦД и других центрах, например, в Центре данных по геомагнетизму ГЦ РАН (Москва), что и привело к массовым запросам через FTP. Web-сервер больше ориентирован на индивидуальных пользователей и статистика запросов здесь даёт более интересную картину: рисунок 10.17 показывает, что интерес к магнитным данным обсерваторий ИКИР в 2016-2017 гг. заметно вырос.

Обсерватории ИКИР, включая "Мыс Шмидта" (CPS), также отправляют свои минутные данные (суточными файлами) в Геофизический центр РАН (Москва, <http://geomag.gcras.ru>). Соответственно, пользователи запрашивают эти данные и через ГЦ РАН. На рисунке 10.18 показана статистика запросов на сайте ГЦ РАН, касающихся магнитных данных. В отличие от сайта INTERMAGNET, где запрос - это получение пользователем суточного файла минутных данных, в представленной статистике по ГЦ РАН запрос - это просто обращение к сайту, включающее как получение данных, так и их отображение в графическом формате. Запросы были нормированы, чтобы исключить эффекты, связанные с работой сайта или подключением к базе новых обсерваторий (или исключением старых). Для сравнения кроме обсерваторий ИКИР рассмотрены ближайшие обсерватории INTERMAGNET - IRT ("Патроны", ИСЗФ СО РАН, г.Иркутск) и УАК ("Якутск", ИКФИА СО РАН).

Как видно по рисунку 10.18, интерес научной общественности к магнитным данным, получаемым в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, не ослабевает. Стабильно большой интерес заметен к данным обсерватории "Мыс Шмидта", поскольку эти данные не имеют другого широкого публичного доступа (дополнительно данные CPS доступны через сайт ИКИР ДВО РАН). Некоторый вопрос возникает в отношении очень большого количества запросов по данным обсерватории "Хабаровск" КНВ, особенно активно проявившегося в 2017 г. - возможно, данные представляют интерес при поисковых работах на шельфе Сахалина и в Охотском море.

Итоговые (Definitve) данные

Важнейшим результатом работы любой обсерватории INTERMAGNET являются итоговые (Definitive) минутные значения полного вектора магнитной индукции F . Эти данные готовятся по завершению года, обычно к 1 июля. Они д.б. максимально очищены от помех, с минимумом пропусков, вычисленные по оптимально полученным базисным значениям основного (и резервных) вариационных магнитометров. Эти данные проходят двойную проверку. На первом этапе проверка осуществляется специально назначенными проверяющими от INTERMAGNET - магнитологами с большим опытом работы с магнитными данными (зав. ГФО "Паратунка" С.Ю. Хомутов в течение многих лет является таким проверяющим данных ряда обсерваторий, в основном из СНГ - Россия, Украина, Казахстан, а также Болгарии). На втором этапе контроль выполняется руководителем комиссии по подготовке итоговых данных Операционного комитета INTERMAGNET. Обычно через 2-3 года INTERMAGNET издаёт специальный DVD с итоговыми данными, который рассылается обсерваториям INTERMAGNET и доступен всем пользователям по запросу. ISO-образы изданных DVD имеются на сайте INTERMAGNET.

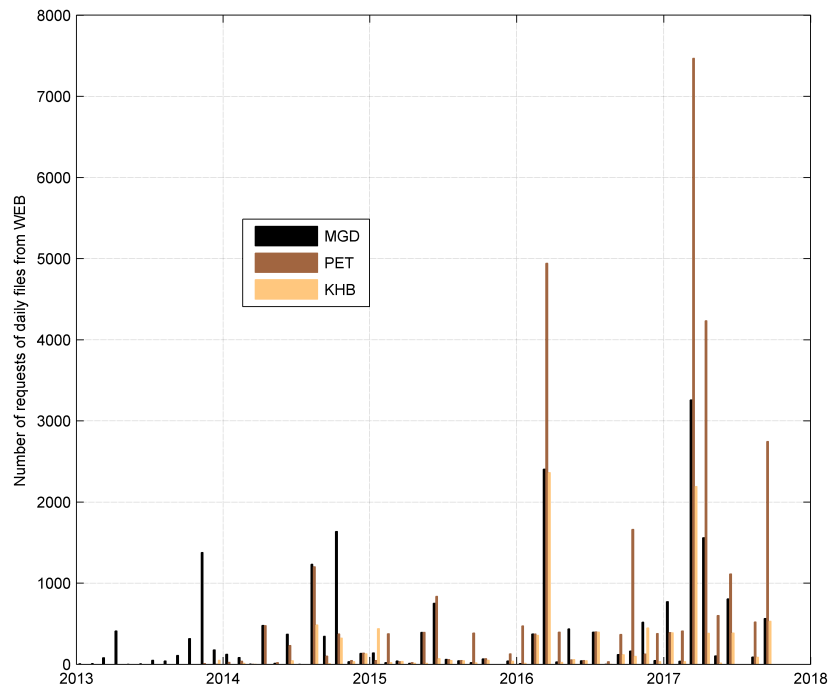


Рисунок 10.17 — Аналогично рисунку 10.16, но файлы были запрошены через Web-сервер INTERMAGNET.

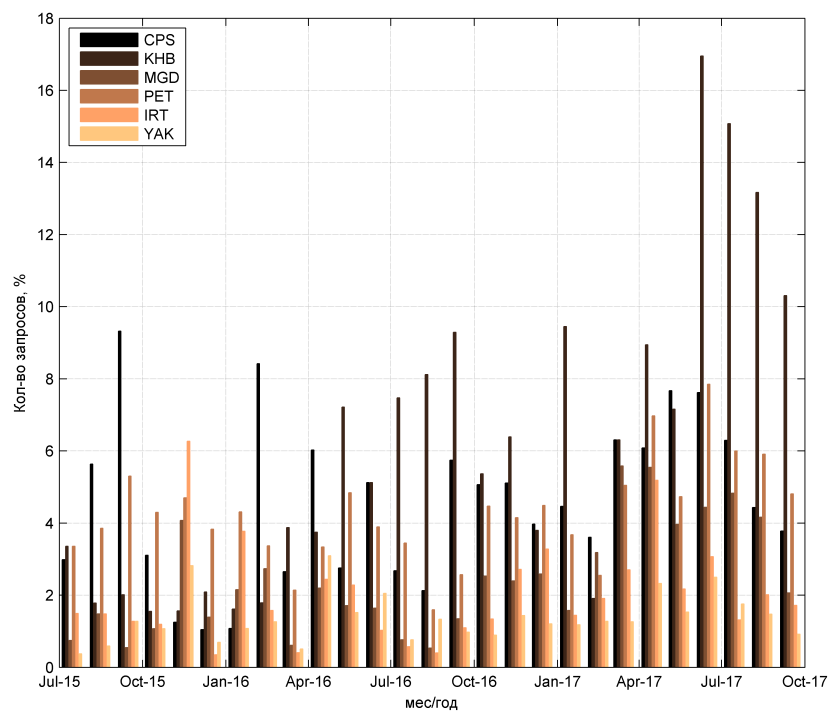


Рисунок 10.18 — Нормированное количество обращений за информацией о магнитном поле (в цифровом или графическом формате) через сайт ГЦ РАН (г. Москва).

Обсерватории ИКИР "Магадан", "Паратунка" и "Хабаровск" ежегодно готовят итоговые данные, т. е. за отчётный период подготовлены и прошли проверку данные за 2014, 2015 и 2016 гг. Кроме того, на ГФО "Паратунка" и "Хабаровск" велась переобработка архивных цифровых данных, пригодных для получения минутных значений стандарта INTERMAGNET. Как результат, в настоящее время на головном сайте INTERMAGNET представлены следующие итоговые данные:

"Хабаровск" - 2011 (с июня) - 2016 гг.

"Магадан" - 2012 - 2016 гг.

"Паратунка" - 2007 - 2016 гг.

Данные КНВ. MGD и PET с 2013 г. опубликованы на INTERMAGNET DVD. Результаты измерений в 2016 г. (минутные и среднесуточные итоговые данные) представлены на рисунках 10.19, 10.20 и 10.21.

Абсолютные наблюдения

Абсолютные магнитные наблюдения (определение полного вектора магнитной индукции в абсолютном смысле) является важнейшей задачей магнитной обсерватории, поскольку именно эти измерения позволяют получать информацию о долговременных изменениях магнитного поля. Современные цифровые компонентные магнитометры выполняют измерения с частотой 1 Гц и выше, однако в общем случае результаты их измерений - это вариации относительно некоторого уровня, задаваемого аппаратно, что позволяет повышать чувствительность и динамический диапазон таких приборов. Некоторые вариометры могут регистрировать практически полный вектор поля, однако в реальной практике измерений существует ряд проблем (технических и методических), которые ограничивают эти возможности. Общепринятым решением в настоящее время является комбинирование вариационных и абсолютных наблюдений, сравнением которых определяются базисные значения вариометра, позволяющие получать полный вектор поля с частотой вариационных измерений. Одна из основных проблем: абсолютные определения полного вектора магнитного поля выполняются вручную, т. е. они трудоёмкие, низкопроизводительные и, в общем случае, менее точные, чем вариационные. Тем не менее, только благодаря этим наблюдениям обсерватории обеспечивают долговременную (годы и десятилетия) стабильность своих результатов.

На обсерваториях ИКИР "Хабаровск", "Магадан" и "Паратунка" абсолютные наблюдения ведутся регулярно в течение десятков лет. Частота наблюдений в общем случае определяется стабильностью базисных значений вариометров, организационными возможностями, кадровой обеспеченностью и др. Магнитологи-наблюдатели должны обладать достаточной квалификацией, начальная подготовка занимает до месяца, полностью подготовленным наблюдатель становится примерно через полгода. К сожалению, имеются физиологические (например, зрение) и психологические (например, нервная система) ограничения - не каждый сотрудник может быть наблюдателем, обеспечивающим качественные результаты.

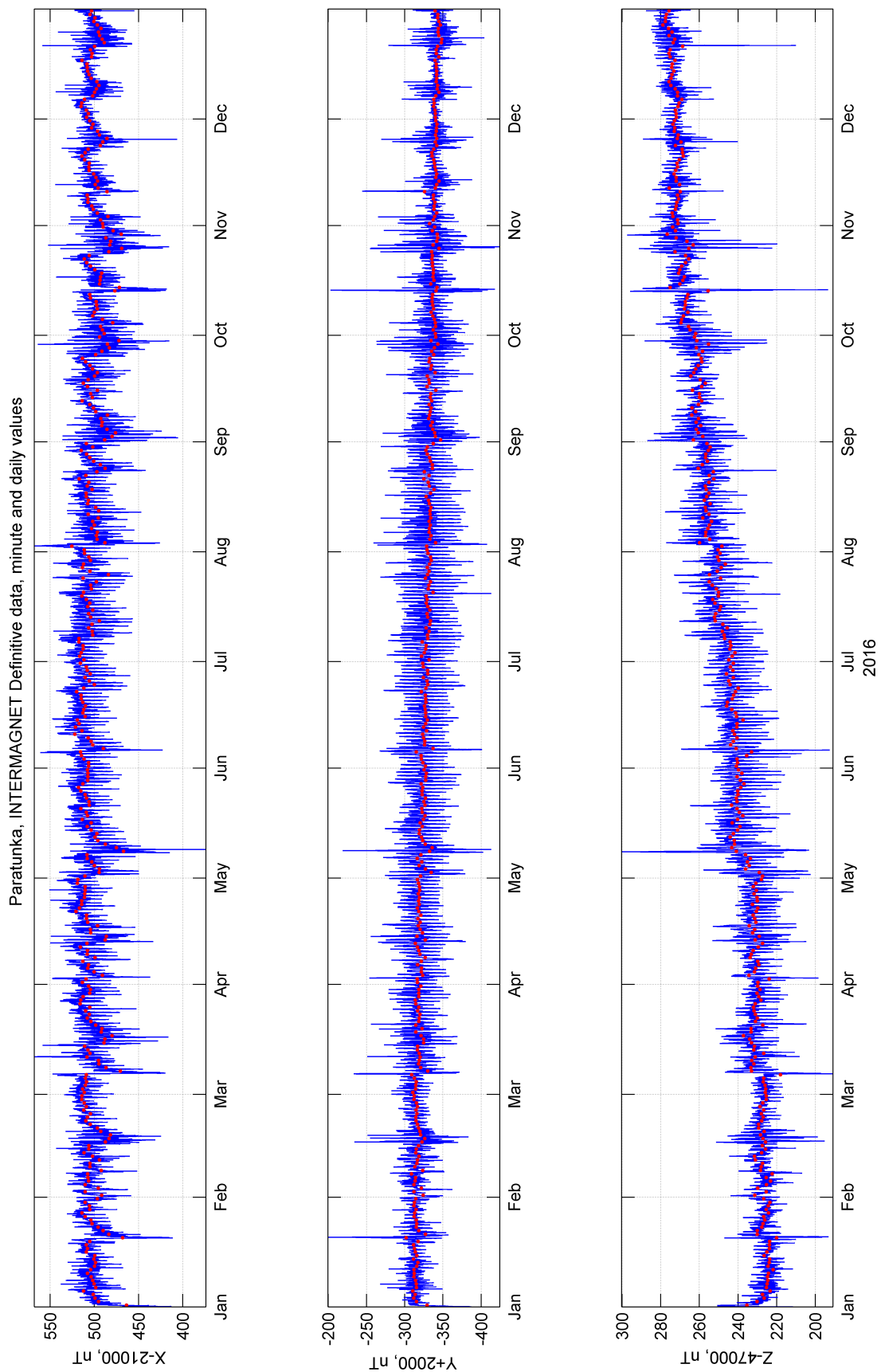


Рисунок 10.19 — Минутные и среднесуточные значения вариаций магнитного поля, обсерватория "Паратунка", итоговые данные для INTERMAGNET DVD-2016.

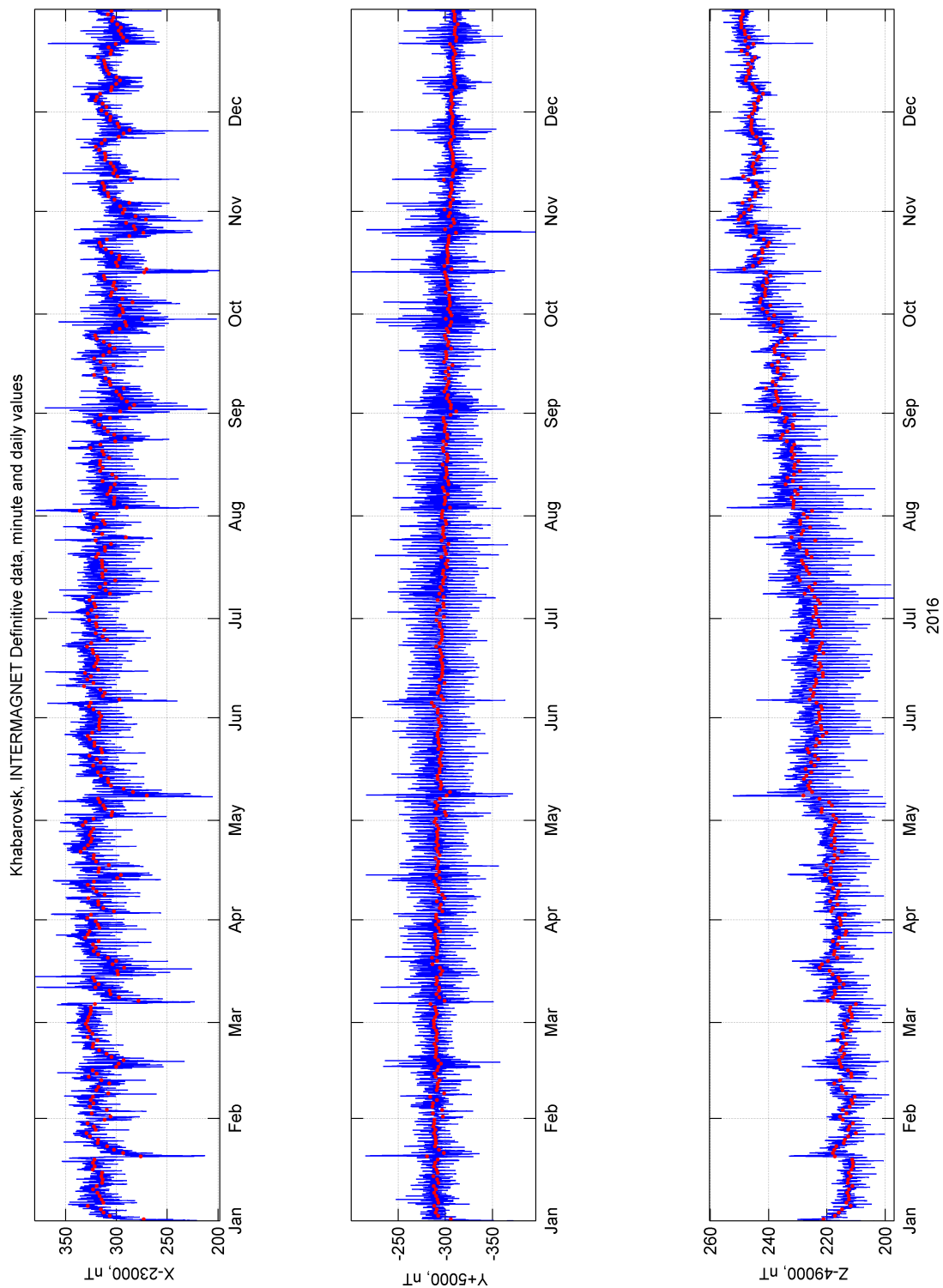


Рисунок 10.20 — Минутные и среднесуточные значения вариаций магнитного поля, обсерватория "Хабаровск", итоговые данные для INTERMAGNET DVD-2016.

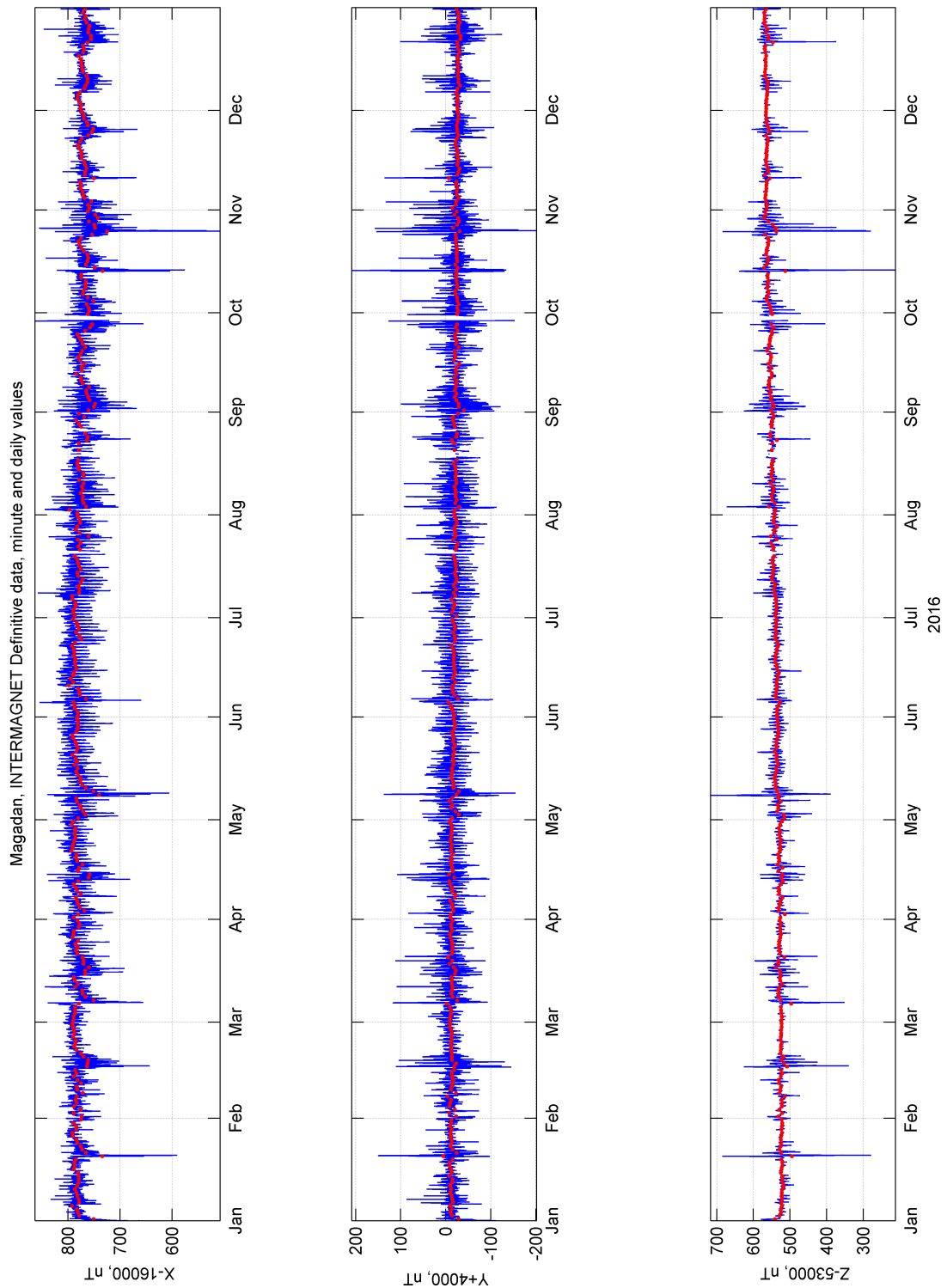


Рисунок 10.21 — Минутные и среднесуточные значения вариаций магнитного поля, обсерватория "Магадан", итоговые данные для INTERMAGNET DVD-2016.

В таблице 10.6 представлена сводная информация о количестве абсолютных наблюдений на обсерваториях ИКИР за 2015-2017 гг., включая распределение по наблюдателям (в процентах) и общее количество полученных базисных значений. Для ГФО "Паратунка" в статистику не включены результаты измерений на резервном fDI-магнитометре Mag-01H, а также результаты наблюдений при сверках.

Таблица 10.6 — Абсолютные наблюдения на обсерваториях ИКИР ДВО РАН

Обсерватория	Наблюдатель	2015	2016	2017
Магадан	Ануфриева М.	19	35	22
	Затравкина В.	81	65	78
	кол-во наблюдений	453	418	347
Мыс Шмидта	Бобылёв Я.	68		
	Коротков В.	32		
	кол-во наблюдений	53		
Паратунка	Райкевич А.	17	19	16
	Богунова О.	15	18	21
	Бабаханов И.	17	22	19
	Хомутова И.	23	19	23
	Хомутов С.	24	22	20
	Сторожук А.	1		
	Бобылев Я.	2		
	кол-во наблюдений	1561	1660	1326
Хабаровск	Балаш Е.	53	38	7
	Лобода В.	49	63	68
	Батенёв А.		13	
	Чарсова С.			22
	Барков И.			3
	кол-во наблюдений	707	762	588

Примечания:

- 1) данные в 2017 г. - по 20 октября;
- 2) распределение по наблюдателям на ГФО "Магадан" примерное;
- 3) распределение по наблюдателям на ГФО "Хабаровск" оценено по количеству дней, в которые выполнялись наблюдения;
- 4) распределение по наблюдателям дано в процентах;
- 5) кол-во наблюдений - кол-во принятых базисных значений.

На рисунке 10.22 показаны базисные значения основных вариометров обсерваторий ИКИР в 2015-2017 гг. Скачки, связанные с настройкой и сбоями базисных уровней магнитометров на РЕТ и КНВ, исключены.

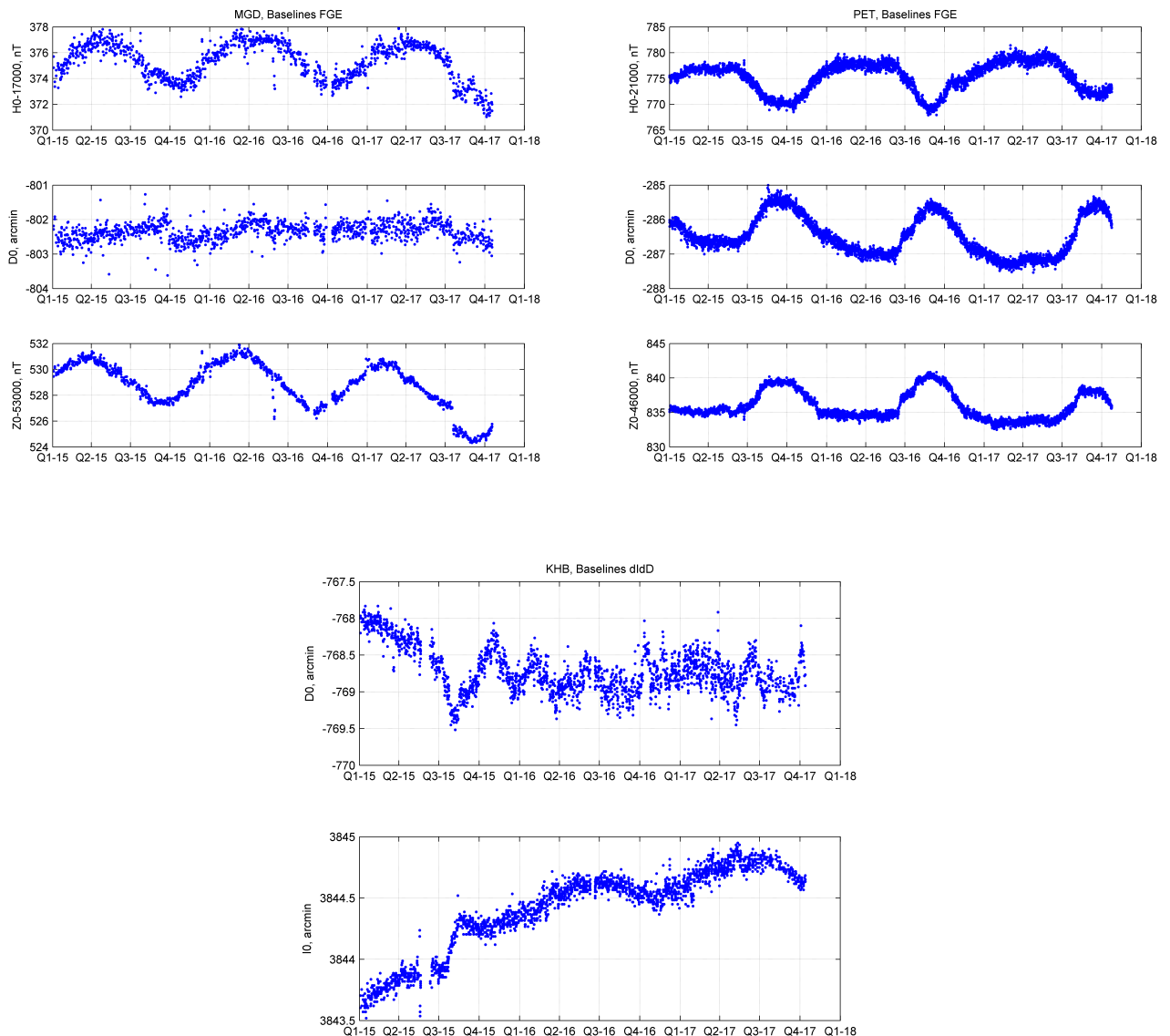


Рисунок 10.22 — Базисные значения основных вариометров на обсерваториях ИКИР (INTERMAGNET): MGD и РЕТ - H0,D0,Z0, магнитометры FGE-DTU, КНВ - D0,I0, вариометр dIdD GSM-19FD.

В отношении полученных за три года базисных значений можно отметить:

1) на обсерваториях MGD и РЕТ хорошо заметны сезонные вариации во всех компонентах, за исключением D0(MGD). Основная возможная причина - изменение температуры в вариационном павильоне, поскольку для феррозондовых вариометров FGE-DTU согласно спецификации температурные коэффициенты могут достигать 0.5-1.0 нТл/°С. Эффект подтверждается прямыми проявлениями, например, увеличение на ГФО "Магадан" температуры на 5°С за несколько суток в конце мая 2016 г. (см. рисунок 10.23) проявилось как уменьшение H0

и Z0 до 4 нТл. Однако, в течение года температура в вариационном павильоне в Магадане достаточно постоянная - несколько регулируемых и фоновых обогревателей обеспечивают её стабильность не хуже 0.5°C (см. рисунок 10.23). В Паратунке используются один регулируемый и один фоновый нагреватели, мощности которых недостаточно в зимнее время, несмотря на относительно мягкую зиму на Камчатке и уровень снега до 2 м, проявляющегося как дополнительный утеплитель наружных стен. Поэтому для обеспечения срабатывания терморегулятора нижний уровень температуры искусственно понижается осенью и поднимается летом. Таким образом, возможный эффект сезонных изменений температуры в Магадане может проявляться опосредовано (или не проявляться, как в случае базисного значения склонения D0);

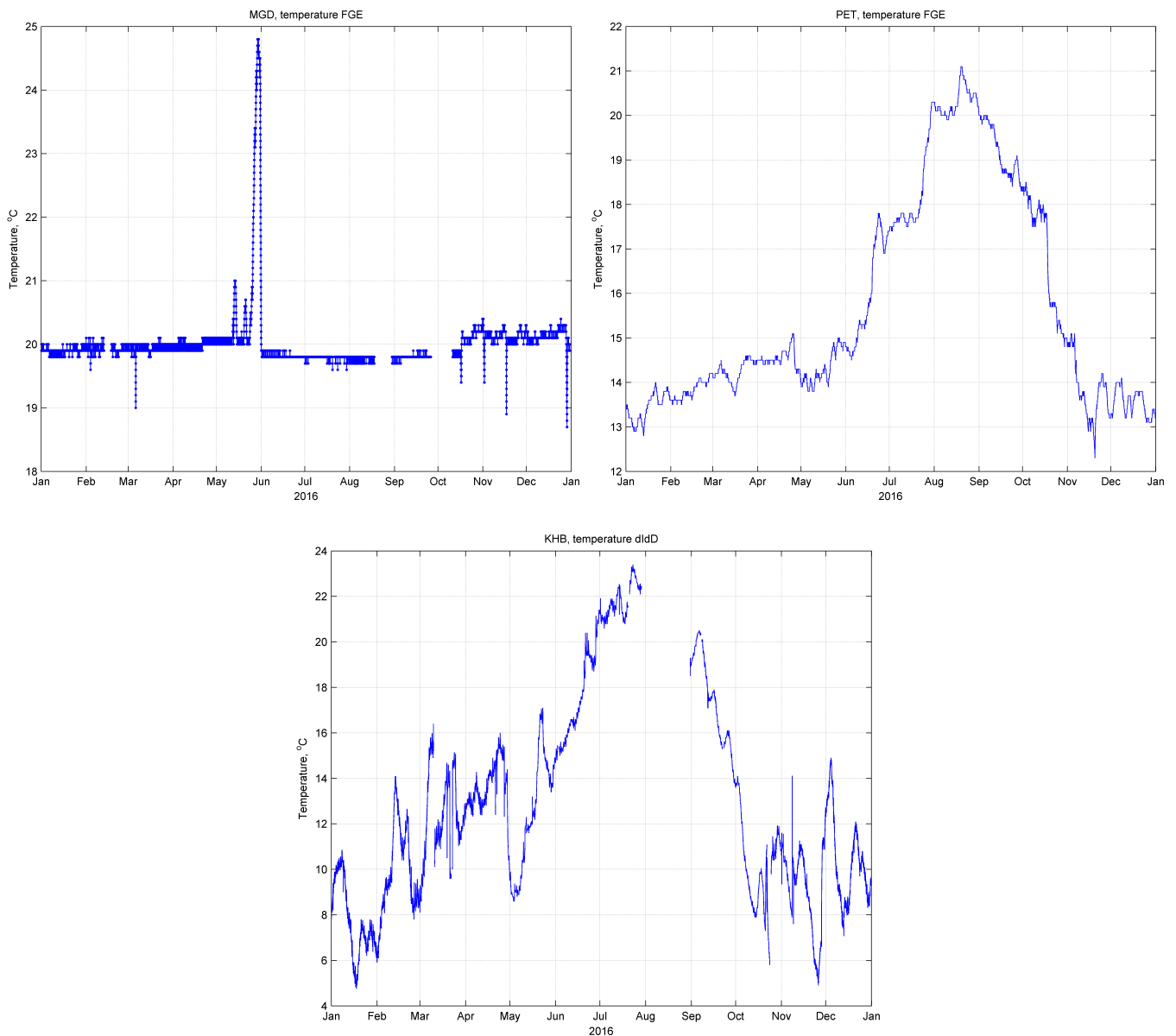


Рисунок 10.23 — Температура в вариационных павильонах ГФО "Магадан" (MGD), "Паратунка" (PET) и "Хабаровск" (КНВ) в 2016 г. Цифровые термодатчики MGD и PET установлены в блоках регистраторов магнитометров FGE, при открытых крышках блоков. Термодатчик КНВ находится рядом с магнитометром didD GSM-19FD.

2) базисные значения наклона Ю на ГФО "Хабаровск" показывают постоянный рост в течение трёх лет, причина не известна. Сезонные вариации отсутствуют, несмотря на то, что температура в вариационном павильоне значительно меняется в течение года (см. рис.10), т. к. мощности задействованных обогревателей недостаточно, чтоб поддерживать температуру на постоянном уровне. Относительная стабильность базисных магнитометра dIdD связана с его низкой аппаратной зависимостью от температуры, что также подтверждается по измерениям этим вариометром на ГФО "Паратунка" и "Магадан".

10.3 Изучение локальных эффектов, оценка влияния

Локальные эффекты в магнитных данных, полученных на обсерваториях - это зарегистрированные дополнительные магнитные сигналы, источники которых находятся в непосредственной близости от магнитометров (обычно - на территории обсерватории) или связаны с аппаратными, программными или методическими ошибками. Эти сигналы не являются объектами в исследованиях космической погоды, магнитосферных и ионосферных процессов или главного магнитного поля и рассматриваются как шум (помехи).

Детальное описание подобных помех, с попыткой классификации и некоторых методов идентификации, сделано в работе [1], при частичной поддержке грантов РФФИ N 16-55-45007 и РНФ N 14-11-00194. На обширном фактическом материале - первичных данных магнитных измерений, полученных при регулярном магнитном мониторинге в рамках Программы ФНИ на обсерваториях ИКИР "Магадан", "Мыс Шмидта", "Паратунка" и "Хабаровск", а также в рамках совместного российско-индийского проекта на индийских обсерваториях "Хайдарабад" и "Чоутушпал", были рассмотрены различные помехи по признакам:

- по характеру проявления по времени "регулярные - случайные";
- по форме "импульсные - бухтообразные - скачки - шумоподобные";
- по величине эффекта "критические - слабые";
- по происхождению, источнику "известный - неизвестный".

В качестве примера на рисунке 10.24 показаны регулярные помехи, возникающие в магнитных данных при работе ионизондов, установленных на ГФО "Магадан" и "Паратунка". Эффективность алгоритмов выделения подобных помех основывается на их хорошо выраженной "искусственности", в т.ч. на регулярности (повторяемости), что позволяет просто вырезать узкие фрагменты исходных магнитных данных, без существенных потерь при вычислении минутных значений.

Пример помех, которые достаточно трудно отличить от естественных магнитных аномалий типа "бухты", показан на рисунке 10.25 - это помехи от автомобилей, проезжающих мимо магнитных павильонов на ГФО "Мыс Шмидта". Графики показывают, что помеха по виду очень похожа на естественный магнитный сигнал, по амплитуде ожидаемый на широте ГФО CPS, и не может быть надёжно идентифицирована как помеха. Однако временные сдвиги между экстремумами сигналов, записанных пространственно разнесёнными магнитометрами, может

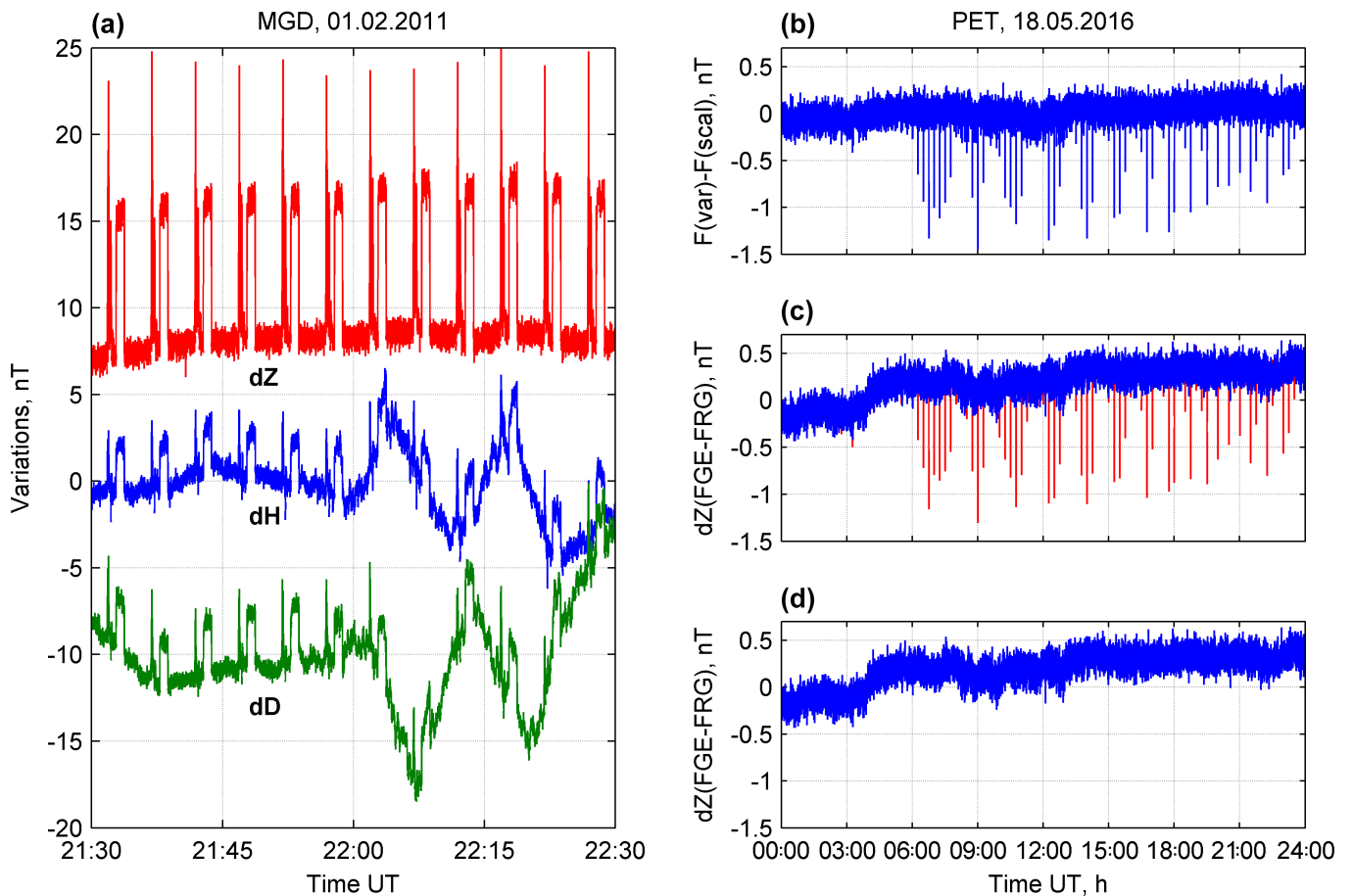


Рисунок 10.24 — Пример регулярных помех в магнитных данных, возникающих при работе ионозондов. (а) на ГФО "Магадан" ионозонд работает с периодичностью 5 мин. и создаёт помехи во всех записях, полученных с помощью феррозондового магнитометра FGE-DTU.

(b), (c), (d) на ГФО "Паратунка" ионозонд "Парус" работает в 15-минутном режиме вертикального зондирования, создавая импульсные помехи преимущественно в вертикальной составляющей, записанной феррозондовым магнитометром FGE-DTU. Эти выбросы хорошо видны в разностях результатов измерений магнитометром FGE и другими приборами, работающим на обсерватории. На панели (d) показан эффект работы используемого алгоритма для удаления подобных помех.

указывать на искусственность аномалий. Окончательным критерием является информация в журнале обсерватории об автомобиле, сделанная магнитологом.

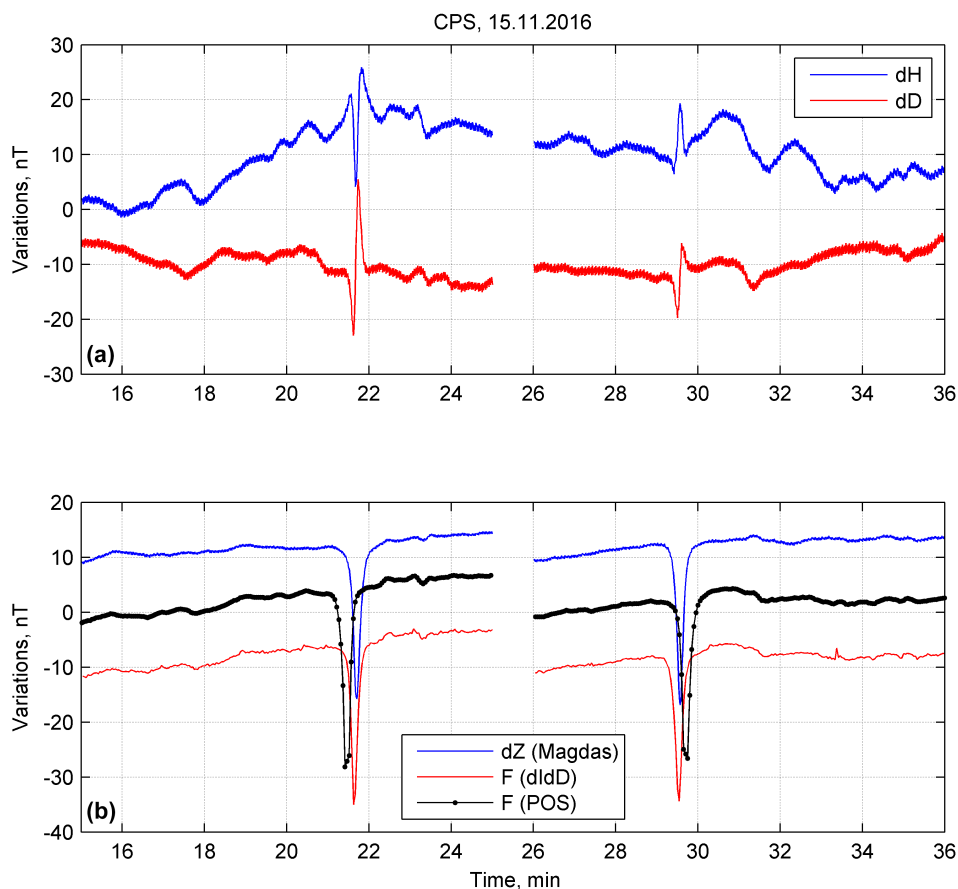


Рисунок 10.25 — Помехи, вызванные автомобилем, проезжающим возле магнитных павильонов на ГФО "Мыс Шмидта" (в одну сторону и обратно). (а) вариации dH и dD , записанные магнитометром MAGDAS, (б) вариации вертикальной составляющей dZ (запись MAGDAS) и модуля поля F (запись скалярным магнитометром POS-1 и вариометром $dIdD$). Магнитометры MAGDAS и $dIdD$ расположены в вариационном павильоне, POS-1 - в абсолютном павильоне на расстоянии около 30 м от вариационного.

Сделанный анализ, конечно, охватывает не весь спектр возможных помех, шумов и сбоев в первичных магнитных данных обсерваторий. Однако он позволяет сделать выводы:

- 1) анализ первичных магнитных данных, получаемых на обсерваториях, является важнейшим элементом подготовки данных для последующей обработки и публикации;
- 2) анализ первичных данных должен выполняться непосредственно на обсерваториях, с минимальной задержкой по времени;
- 3) во многих случаях математические, программно реализованные методы для идентификации помех, близких по параметрам к естественным магнитным сигналам, могут быть недостаточно эффективными по сравнению с оценками экспертов (магнитологов). Эффективность заметно возрастает при использовании дополнительной информации, например, записей

в журналах о реальной ситуации на обсерватории или данных, полученных другими магнитометрами.

4) неэффективные методы выделения и удаления помех в первичных магнитных данных могут приводить к ошибкам (случайного и систематического характера) в итоговых данных, предоставляемых обсерваториями для использования мировым научным сообществом.

Отдельную проблему составляют локальные эффекты от источников с масштабами и/или на расстояниях, сравнимых с территорией обсерватории или больших. В этом случае контроль сравнением результатов измерения магнитометрами, расположенными на различных постах в одном павильоне или в разных павильонах, а также визуальный контроль магнитной обстановки на обсерватории персоналом становится малоэффективным.

Для примера, на рисунке 10.26 показаны помехи в первичных магнитных данных при работах на скважине, расположенной на расстоянии около 100 м от павильонов обсерватории "Паратунка". Извлечение каждой 10-метровой секции обсадной трубы из скважины приводило к скачку до 0.1 нТл в данных ближайшего к месту работ магнитометра dIdD, что хорошо видно после исключения естественных геомагнитных вариаций - использовались записи более удаленного (ещё на 30 м) магнитометра POS-1. Эффект было бы затруднительно однозначно интерпретировать как помеху, если бы факт работ на скважине не был задокументирован магнитологами обсерватории. Также понятно, что при работе более эффективных в магнитном отношении объектов на большем удалении от обсерватории помехи были бы мало различимы в разностях записей разнесённых приборов, а сам факт таких работ не был бы задокументирован.

Одним из вариантов контроля подобных эффектов может быть размещение контрольного магнитометра на достаточно удалении от обсерватории. Так, на станции "Карымшина", расположенной примерно в 15 км к югу от обсерватории "Паратунка", с 2015 г. устанавливается вариометр dIdD GSM-19FD - только на лето-осень, т. к. в зимнее время года высота снега на Карымшина достигает 5 м и выше, и существует опасность разрушения павильона, в котором находится магнитометр.

На рисунке 10.27 для примера представлена суточная запись модуля поля F и вариаций склонения dD и наклонения dI , периодичность измерений 2.5 с. Поле в эти сутки было достаточно возмущённым (локальные K -индексы составляют 3, 4, 5, 5, 4, 3, 2, 2, суммарный 28). Видно, что разности F достигают 4 нТл (10% от вариации F), в разности D видно только суточную вариацию, разность наклонения I подобна разности F , т. е. вероятнее всего, имеется различие в вертикальной составляющей. Рисунок 10.27 показывает, что в некоторых случаях первичные магнитные данные, полученные на обсерватории, могут быть проконтролированы по данным, записанным на расстояниях в 10 км и более. Необходимо также отметить, что наблюдаемые разности представляют интерес и как самостоятельный объект для исследования, т. к. могут отражать изменения в состоянии подстилающих пород. К сожалению, измерения на станции "Карымшина" с помощью магнитометра dIdD часто содержат большие помехи, возникающие при работе дизельной станции. Тем не менее, измерения на Карымшина будут продолжены.

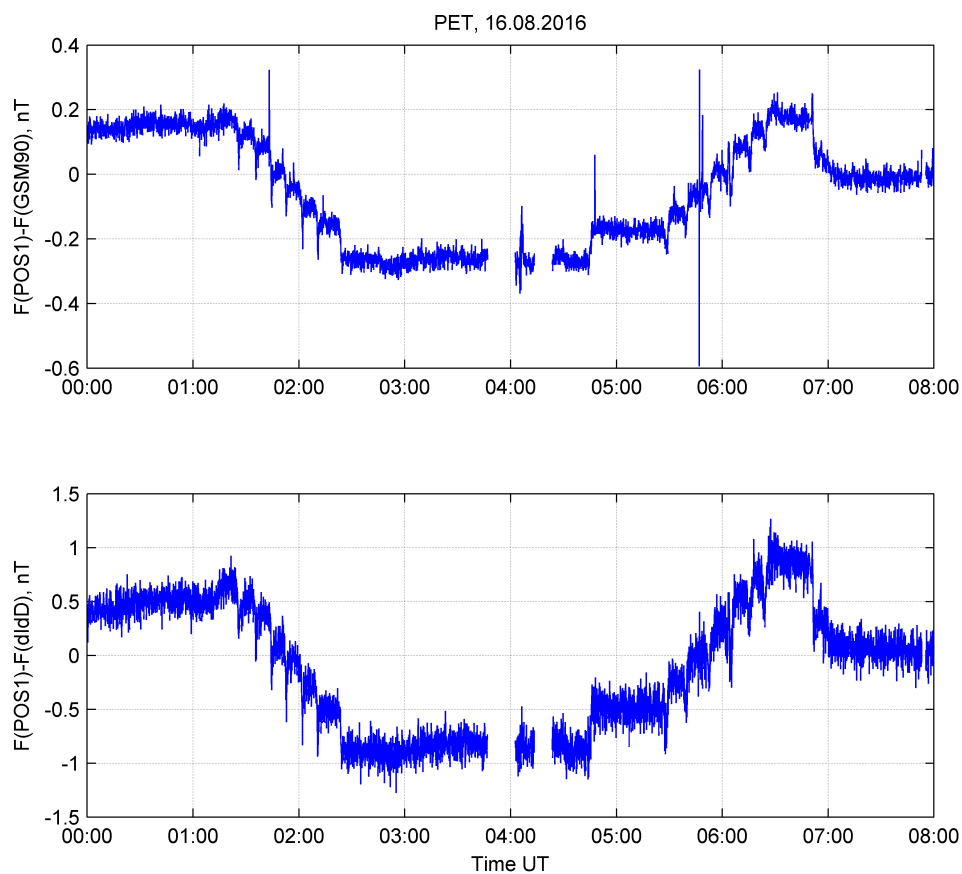


Рисунок 10.26 — Пример скачкообразных помех на обсерватории ”Паратунка”, возникающих при извлечении и опускании обсадной металлической трубы в скважину глубиной 80 м. Кривые на графиках - разности модуля F , измеренного скалярными магнитометрами на различных расстояниях от скважины. Каждая ступенька соответствует работе с одной секцией трубы.

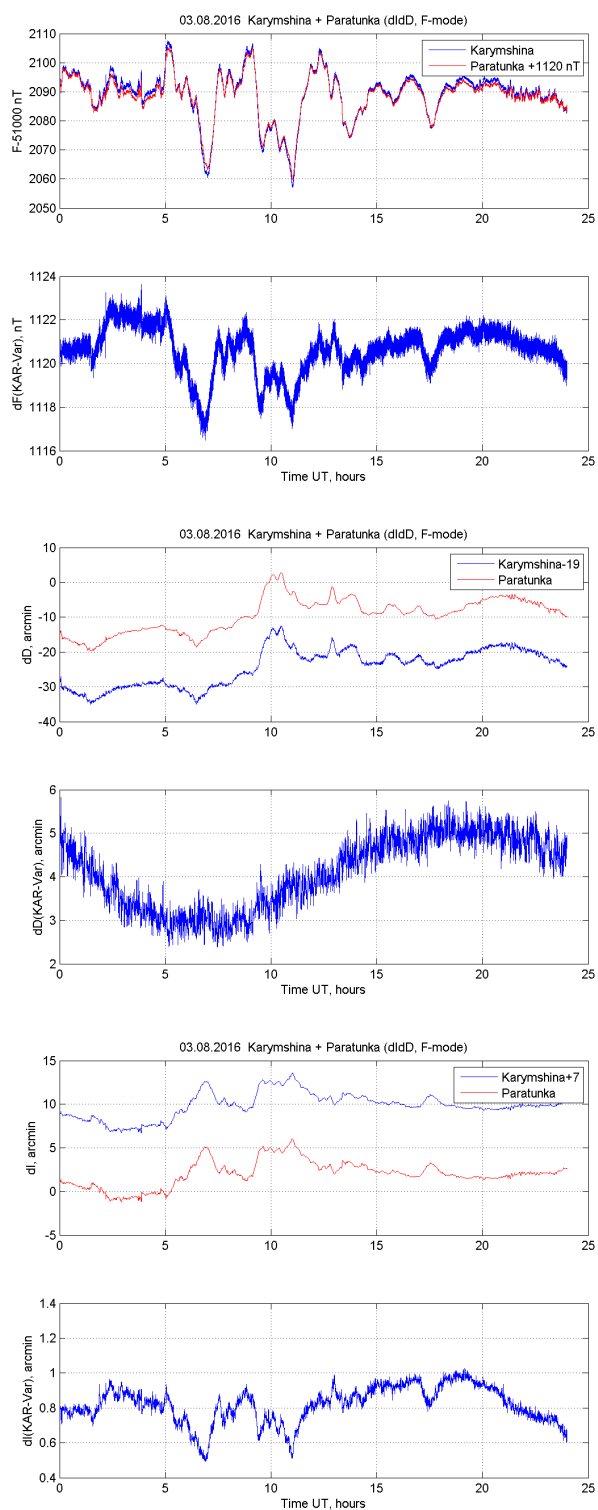


Рисунок 10.27 — Сравнение вариаций модуля поля F, склонения D и наклонения I, полученных 3 августа 2016 г. на обсерватории "Паратунка" и станции "Карымшина" с помощью однотипных магнитометров dIdD (расстояние между пунктами около 15 км).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Khomutov S.Y., Mandrikova O.V., Budilova E.A., Arora K., Manjula L. Noise in raw data from magnetic observatories // *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*–2017.–Vol.6.–P. 329-343 (<https://doi.org/10.5194/gi-6-329-2017>)
- 2 Жижикина Е.А., Мандрикова О.В., Хомутов С.Ю. Алгоритм выделения техногенных помех в геомагнитных данных // *Вестник КамчатГТУ.* – 2016. – Вып. 35. – С. 21-26.
- 3 Жижикина Е.А., Мандрикова О.В., Хомутов С.Ю. Алгоритм выделения техногенных помех в геомагнитных данных // 18-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение». – 2016 г. – С. 447-452
- 4 Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, – 2006 г. – 140 с.
- 5 А.Ю. Гвоздарев, А.И. Бакиянов, А.А. Бетев, Е.О. Учайкин, П.Б. Бородин, С.Ю. Хомутов Организация непрерывной регистрации магнитных вариаций на станции байгазан (телецкое озеро) // Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, – 2010. – №4. – С.31-42.
- 6 Mandrikova O.V., Solovev I.S., Zalyaev T.L. Methods of analysis of geomagnetic field variations and cosmic ray data // *Earth Planet Space.* – 2014. – Vol. 66. – No 1. doi:10.1186/s40623-014-0148-0.
- 7 Mandrikova O.V., Solovev I.S., Khomutov S.Yu., Baishev D.G., Chandrasekhar P. Analysis of magnetic data of ground station network during strong magnetic storms // *Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquakes Precursors. E3S Web of Conferences.* – 2017. – Vol. 20. – 02008. DOI: 10.1051/e3sconf/20172002008
- 8 Khomutov S.Y. Magnetic observations at Geophysical Observatory "Paratunka" IKIR FEB RAS: tasks, possibilities and future prospects // *E3S Web of Conferences.*–2017.–Vol. 20, N 02002.–18 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20172002002) - VIII International Conference "Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors"