

## **ОРГАНИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ МАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ НА СТАНЦИИ БАЙГАЗАН (ТЕЛЕЦКОЕ ОЗЕРО)<sup>1</sup>**

А.Ю. Гвоздарев<sup>1</sup>, А.И. Бакиянов<sup>1</sup>, А.А. Бетёв<sup>1</sup>, Е.О. Учайкин<sup>1</sup>,  
П.Б. Бородин<sup>2</sup>, С.Ю. Хомутов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Горно-Алтайский государственный университет

<sup>2</sup>Геофизическая обсерватория «Арти», Институт геофизики УрО РАН

<sup>3</sup>Геофизическая обсерватория «Ключи», АСФ ГС СО РАН г. Новосибирск

### **Введение**

В последнее время усилилось влияние техногенного электромагнитного загрязнения на качество наблюдений на геомагнитных обсерваториях. Например, измерения на ближайшей к Алтаю магнитной обсерватории в Новосибирске («Ключи») производятся в условиях все возрастающей техногенной нагрузки, что приводит к наличию техногенного шума амплитудой до 2 нТл. Согласно (Уткин, Сокол-Кутыловский, 2006) амплитуда техногенных вариаций вертикальной составляющей на расстоянии 10 км от Екатеринбурга в среднем составляет 0.5 нТл с выбросами до 2 нТл (в самом городе 10 нТл с выбросами до 20 нТл). Согласно (Птицина и др., 1998), техногенные шумы Санкт-Петербурга в УНЧ-диапазоне снижаются до значения 1 нТл лишь на расстоянии 90 км от города. Между тем, с введением в практику магнитных измерений высокочувствительных цифровых приборов, а также развитием спутниковых методов и технологий, требования к качеству геомагнитных данных постоянно растут - в настоящее время рекомендуемый уровень шумов составляет 0.1 – 0.5 нТл (Нечаев, 2006).

В связи с этим возникла идея разместить пункт регистрации геомагнитных вариаций на Алтае. Как известно, территория Горного Алтая характеризуется низкой промышленной нагрузкой, поэтому здесь возможны измерения магнитного поля с очень низким уровнем шумов. Кроме того, в ряде работ (Кузнецов, Хомутов, 2004; Гвоздарев и др., 2005) была отмечена несинхронность вариаций на Алтае и в Новосибирске, что говорит о наличии их региональной специфики.

При создании пункта долговременных магнитных измерений необходимо обеспечить выполнение довольно противоречивых требований (Нечаев, 2006): удаленность от промышленных объектов и транспортных магистралей, неизменность магнитной обстановки в течение нескольких десятков лет (в обозримый период не предполагается строительство промышленных и жилых объектов, прокладка транспортных магистралей, трубопроводов и линий электропередач); наличие охранной зоны радиусом не менее 200 м, низкие значения градиента магнитного поля на территории пункта измерений (не более 2 нТл/м) и в его окрестности; наличие электроснабжения, подъездных путей и линии связи. Такие требования легче всего осуществить в условиях заповедника, на территории которого гарантировано сохранение неизменной в течение многих лет магнитной обстановки.

### **Выбор места размещения пункта регистрации в Алтайском заповеднике**

В 2008-2009 гг. нами были проведены рекогносцировочные и площадные магнитные съёмки на территории вблизи кордонов Алтайского государственного заповедника (см. рис.1). При этом во время посещения кордонов проведен сравнительный анализ факторов, влияющих на выбор места размещения пункта регистрации (однородность магнитного поля, особенности геологического строения, доступность кордона, наличие связи, вандализационность, средняя температура и влажность, наличие источников электроэнергии, технические способности и личные качества персонала). Разброс значений поля в окрестностях кордонов по данным съёмок приведен в нижеследующей таблице.

---

<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ 09-05-98014\_p\_сибирь\_a

В результате этих работ для организации непрерывных измерений был выбран кордон Алтайского заповедника Байгазан, расположенный на северном берегу Телецкого озера в 15 км от с.Артыбаш. Подъезд к кордону возможен только по озеру (на кордоне есть моторная лодка и катер), зимой – по льду (обычно озеро замерзает в этом районе в середине января). Так как расстояния от села не очень велики, кордон доступен в течение всего года. Энергоснабжение кордона осуществляется от солнечной батареи и дизельного генератора, есть самодельный ветрогенератор, но из-за больших потерь в проводах заметного вклада он не даёт. На кордоне есть сотовая связь (Билайн, Мегафон), правда, приём не очень уверенный.

Таблица.

Результаты рекогносцировки магнитного поля на кордонах Алтайского заповедника

№	Кордон	Длина маршрута, км	Пределы изменения поля, нТл	Примечание
1	Байгазан	52.39	58870-59410	100 км от Горно-Алтайска, 15 км от Артыбаша, подъезд только по озеру. Есть сотовая связь.
2	Яйлю	2.62	59050-59315	Большая терраса, сложенная четвертичными отложениями. Центральный кордон заповедника Яйлю с населением около 200 чел. Есть дорога.
3	Камга	3.80	58890-59590	Кордон малообжит.
4	Корбу	0.3	58860-59450	Наиболее посещаемый кордон – более 10 тыс. посещений в год
5	Кокши	2.08	58580-59460	Труднодоступен в зимнее время
6	Челюш	0.44	59080-59290	Труднодоступен в зимнее время
7	Беле	2.98	59170-59660	Большая терраса. Труднодоступен в зимнее время. Сотовая связь.
8	Язула	33.81	58500-68150	500 км от Горно-Алтайска, из них более 50 по отсыпанным и грунтовым горным дорогам. В 5 км деревня Язула. Высота над уровнем моря 1600 м.

Примечание: длина маршрута – общая протяженность выполненной магнитной съемки

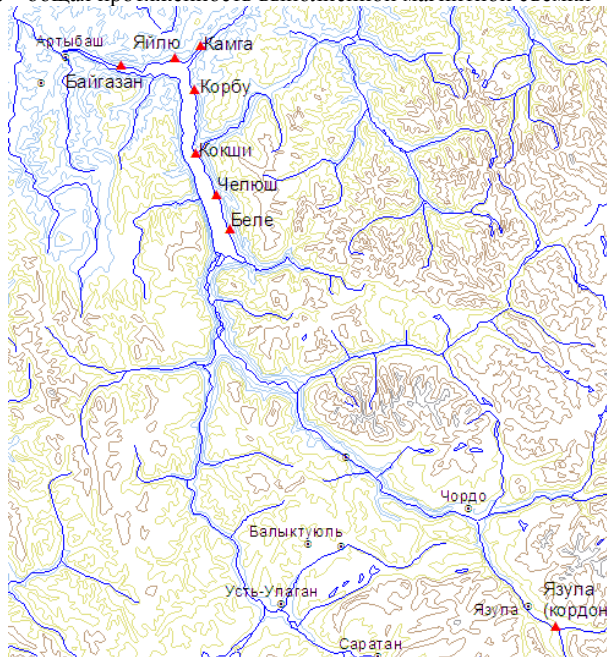


Рис. 1. Расположение обследованных кордонов Алтайского заповедника (отмечены треугольниками)

## Аппаратура

Обсерваторией "Арти" Горно-Алтайскому государственному университету (ГАГУ) была передана сгоревшая от удара молнии цифровая магнитовариационная станция (ЦМВС) «Кварц-ЗЕМ». Данная ЦМВС разработана на основе кварцевых датчиков Бурцева-Белова и характеризуется высокой стабильностью базисных уровней. Она достигается за счёт низких значений температурных коэффициентов механической части датчика, изготовленной целиком из плавленного кварца (коэффициент расширения  $\alpha \cong 10^{-6} K^{-1}$ ), и магнитных элементов из викалоя ( $\beta \cong 10^{-5} K^{-1}$ ). На выход аналоговой части станции подается три дифференциальных сигнала  $\pm 10V$ . В ЦМВС реализована отрицательная обратная связь, что расширяет её динамический диапазон до 10-15 Гц. Аналогичные станции работают на магнитных обсерваториях в Арктике (остров Визе, остров Хейса, острова Известия, острова Уединения, Диксон, Сопочная Карга) и Антарктике (станции «Мирный», «Восток», «Зон Шайн», «Дейвис»).

Сотрудниками обсерватории «Ключи» (г. Новосибирск) проведен ремонт и настройка аналоговой части станции, исследованы частотные характеристики станции. Лабораторией робототехники ГАГУ разработан и изготовлен новый цифровой регистратор для ЦМВС (Кудин, Учайкин, 2010) на базе 16-битного контроллера PIC24HJ128GP, использующий малощумящие 24-разрядные АЦП AD7732BRU. При этом удалось улучшить параметры станции. Так, согласно (Белов, Бурцев и др., 2006), разрешающая способность «Кварц-ЗЕМ» составляет 0.1 нТл при динамическом диапазоне до 5000 нТл и полосе частот до 15 Гц. Аналогичной чувствительностью характеризовалась и более поздняя разработка «Кварц-4» (Бурцев, Кириаков, Любимов, 2006): 0.1 нТл, 4000 нТл и 10 Гц соответственно. В результате применения малощумящих АЦП, а также оптической развязки цифрового интерфейса SPI между контроллером и АЦП, была достигнута большая чувствительность регистрирующей части (до 0.01 нТл при отсчётной точности 0.1 пТл), что позволило уверенно регистрировать микропульсации ГМП с периодом 1 с и амплитудой около 0.1 нТл. К контроллеру подключен GPS (A1080) с внешней выносной немагнитной антенной, который используется для синхронизации (раз в час) регистратора по шкале UT с точностью 1 сек. Также к контроллеру через разъём подключён прецизионный цифровой термометр DS18B20 с точностью измерений  $1/16^\circ C$ . Энергопотребление всей системы составляет около 4 Вт, рабочий диапазон температур регистратора  $-40...50^\circ C$ , блока усилителей  $-10...50^\circ C$ .

## Организация измерений

Магнитное поле в окрестностях кордона довольно однородно, в радиусе 1 км оно меняется на 400 нТл, основные аномалии обоих знаков обнаружены в прибрежной полосе. На поляне к северу от дома егеря были обнаружены области с низким градиентом поля (ниже 2 нТл/м), где было решено установить вариационный павильон. На рис. 2 представлено распределение поля и его градиента на этой поляне по результатам съёмки в декабре 2009 г. Заметим, что к этому времени была убрана железная труба, оставшаяся от старого каптажа, в результате сильно снизился градиент поля в западной части поляны. Наблюдаемая область повышенного градиента в её юго-западной части связана с наличием ещё одной такой трубы. Сравнение с результатами летних измерений показало, что распределение магнитного поля в целом осталось неизменным, а распределение градиента существенно изменилось, однако павильон остался расположенным на изолинии 2 нТл/м.

На территории кордона согласно рекомендациям из (Нечаев, 2006) возведен павильон для магнитовариационных измерений из немагнитных материалов (рис.3). Здание размером 2.5×3.8 м построено из дерева, в качестве крепежа использовались медные гвозди. Стены здания сориентированы по компасу, длинной стороной вдоль магнитного меридиана. Крыша покрыта толем в два слоя с креплением мелкими медными гвоздями через рейку. Для заливки основания постамента (объём 1 куб. метр) использовалась известково-песчаная смесь. Постамент расположен на расстоянии 0.5 м от северной стены, изготовлен из стеклоблоков, скрепленных при помощи клея, сверху также на клей уложена гранитная

плита, на неё установлена ЦМВС. Проверка градиента поля рядом с постаментом после завершения строительства павильона показала, что он не превышает 0.9 нТл/м, таким образом, однородность поля не была нарушена во время стройки.

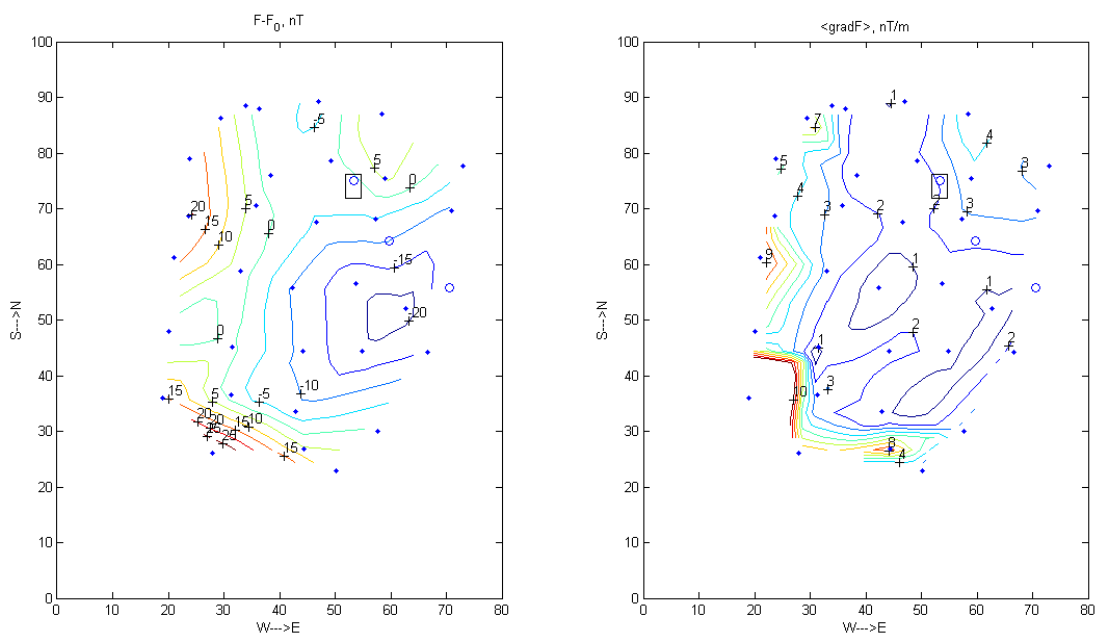


Рис.2. Распределение аномального поля (слева, изолинии проведены через 5 нТл) и полного градиента (справа, изолинии проведены через 1 нТл/м) на поляне 03.12.2009. Павильон показан прямоугольником с кружком внутри (координаты N51°45.5955', E87°25.9157'). Точками отмечены места измерений.



Рис. 3. Вариационный павильон: слева – расположение относительно дома егеря и озера, справа – общий вид.

На пункте регистрации использована пассивная система термостабилизации. Грунт под полом павильона засыпан стружкой для защиты от промерзания. Вокруг постамента сооружена теплоизоляционная камера из экструдированного пенополистирола (коэффициент теплопроводности 29 мВт/(м×К)) толщиной 15 см. Внутри неё рядом с вариометрами для контроля температуры установили термодатчик. Блок усилителей разместили внутри второго слоя пенополистирола у основания постамента, снаружи установили на распоре дополнительную утепляющую крышку с уплотнением из поролона. Эксплуатация ЦМВС в течение зимы показала, что при понижении температуры окружающей среды до  $-30^{\circ}\text{C}$  температура внутри камеры не опускалась ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, при потреблении

ЦМВС мощности около 2 Вт, камера держит разность температур  $15^{\circ}\text{C}$ . Для защиты от влаги внутрь камеры помещены ёмкости с силикагелем.

Блок усилителей соединён с регистратором кабелем длиной 5 м, проведенным под полом, регистратор разместили на полке около южной стены павильона. Здесь же размещены блок питания в термоюшике из пенополистирола толщиной 5 см и блок калибровки.



Рис.4. Термоизоляционная камера: а – нулевой контур, б – внешний вид, в – ЦМВС, г – блок усилителей.

В качестве источника энергии использована солнечная электростанция. Для защиты от низких температур аккумулятор энергосистемы емкостью 65 А-часов помещен в шурф глубиной 80 см, который закрыт сверху плитой из экструдированного пенополистирола и засыпан стружкой. Солнечная батарея установлена на крыше павильона в деревянной раме, сориентирована на юг под углом к горизонту  $75$  градусов (зимний оптимум). Провода от солнечной батареи и аккумулятора для снижения помех скручены в витую пару. Контроллер заряда энергосистемы установлен на южной стене павильона.

03.12.2009 начат непрерывный мониторинг магнитных вариаций. Запись трёх компонент поля ( $D$ ,  $H$ ,  $Z$ ) и температуры ведется на съёмную флеш-карту типа MMC/SD объёмом 2 Гб (непрерывная запись без смены носителя возможна в течение полугода). Регистрация проводится с частотой 5 Гц, каждая запись является результатом усреднения 10 измерений. Привязка времени осуществляется по GPS-сигналу раз в час. Регулярно (раз в три дня) ведётся калибровка ЦМВС для набора данных о зависимости чувствительности от температуры и других факторов. Записанные данные периодически считываются с флеш-карты при помощи специального приложения, написанного для ОС Windows, и пересылаются в Горно-Алтайск.

Шумовая составляющая по всем компонентам составляет не более 0.1 нТл, что соответствует требованиям, предъявляемым к геомагнитным обсерваториям. В

благоприятных условиях шум снижается до 0.02 нТл. Проведено сравнение результатов мониторинга с данными обсерватории «Ключи» (рис.5), которая выявила схожесть динамики поля и его вариаций по D- и H-компонентам при меньшем уровне шумов на Алтае (см. рис.5б,в). Z-компонента на обсерватории «Ключи» подвержена заметным техногенным помехам, поэтому различия довольно значительны. Кроме того, при увеличении суточной вариации в весенний период усилились различия в вариационных кривых между Новосибирском и Алтаем, достигая величин около 5 нТл.

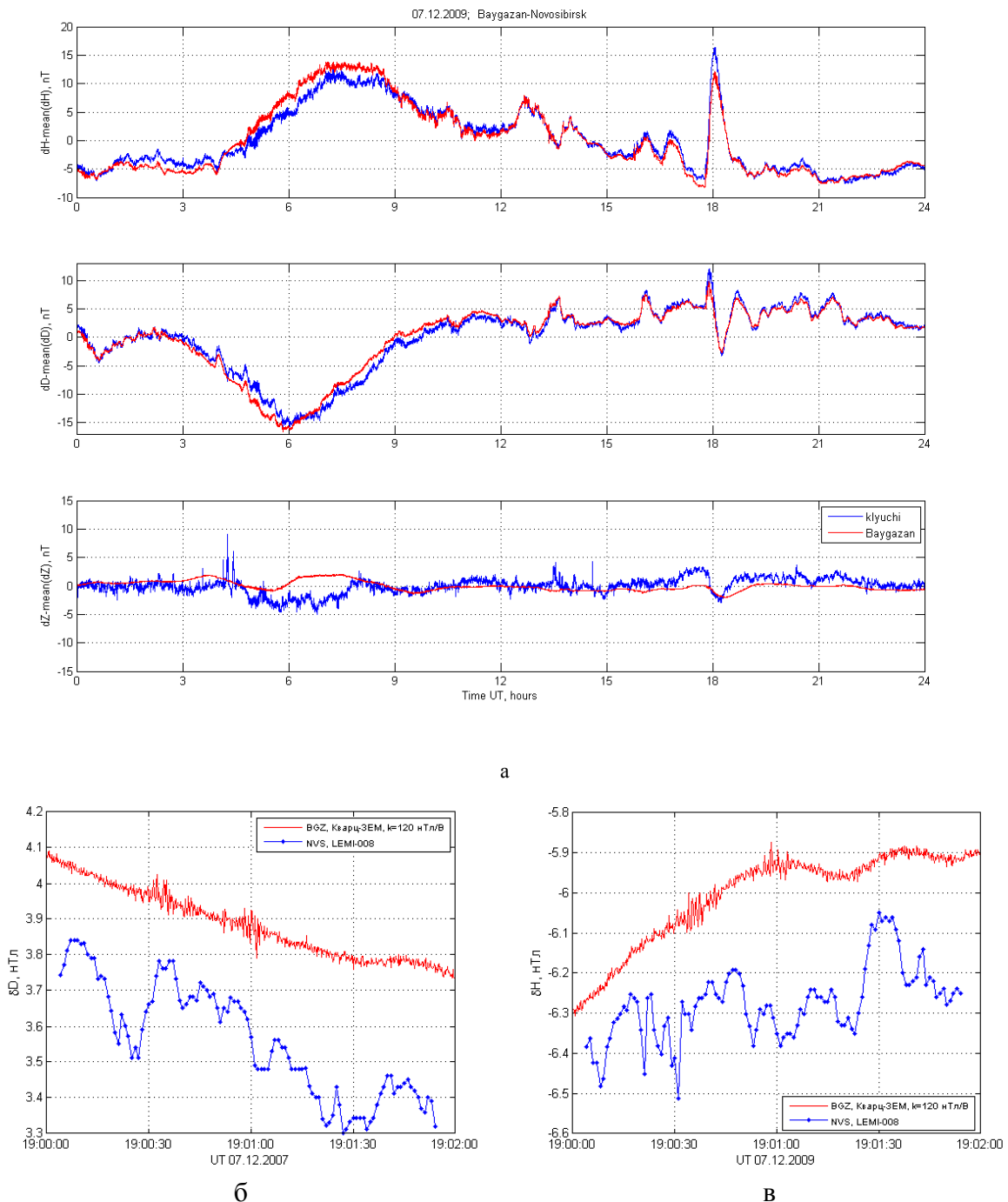


Рис. 5. Сравнение вариаций на обсерватории «Ключи» (Новосибирск, NVS) и кордоне Байгазан (BGZ) 7 декабря 2009 г.: а – суточная динамика, б, в – сравнение вариаций северной и восточной компонент.

### Технические проблемы при регистрации геомагнитных вариаций

Так как опыта организации пункта регистрации на Алтае ещё не было, работы в первый сезон были связаны с настройкой измерительного комплекса. При этом возникали

различные технические проблемы, и накапливался опыт их преодоления. Первые трудности возникли уже через неделю после запуска непрерывной регистрации. Особенностью датчиков Бурцева-Белова является наличие у них двух положений равновесия, одно из которых «ложное» (Нечаев, 2006). Через некоторое время после установки станции (09.12.2009) датчик Z-компоненты спонтанно перешел в такое «ложное» положение равновесия. При этом скачком изменились показания Z-вариометра, уменьшилась его чувствительность, а шумы выросли до 0.1 нТл. 16.12.2009 был организован выезд на кордон (озеро около Артыбаша к этому времени уже замерзло, и добираться пришлось пешком), и проведена настройка датчика. При попытках вывести вариометр в истинное положение было замечено, что при точной настройке датчика на нулевое значение, он «вылетает» в «ложное» состояние и вместо нуля выдает напряжение 3.4 В. Отсюда возникла идея намеренно создать такую разбалансировку датчика, чтобы он находился в отрицательном диапазоне значений. При этом датчик стал выдавать напряжение около -3.2 В. Проведенная калибровка показала, что датчик стал в устойчивое положение, шум исчез. В дальнейшем, в целях повышения устойчивости системы, калибровочный ток был снижен до минимального значения – 6.33 мА. За счёт этого достигалось меньшее отклонение датчика от истинного положения, что снижало вероятность переброса в «ложное» состояние.

Дальнейшая работа измерительного комплекса в течение 4-х месяцев выявила следующие проблемы:

1. потери данных при сильных морозах;
2. шумы и наводки при работе солнечной батареи;
3. импульсные помехи, предположительно связанные с растрескиванием льда на озере;
4. узкополосные помехи с частотой 1 и 2 Гц и амплитудой около 0.02 нТл, видимо, вызванные работой регистратора.

На рис. 6 показан график суточных потерь данных за 4 месяца регистрации. Как видим, сразу после запуска потери данных были очень малы (240 измерений в сутки), они возникали при синхронизации GPS примерно раз в час. Первый участок с полной потерей данных (12-15 декабря) связан с работами по модернизации блока усиления, осуществляемыми после выхода Z-датчика в «ложное» положение. 16 декабря станция была запущена вторично, и второй промежуток полной потери данных (23-25 декабря) был вызван разрядкой аккумулятора во время сильных морозов, наложившейся на уход егеря на полевые работы. В дальнейшем заметные потери данных (около получаса) возникали при замене аккумуляторов, а также в сильные морозы (до 30%) из-за снижения ёмкости аккумулятора и перебоев в регистрации. Эти потери довольно хаотично распределены по времени суток, хотя наблюдается их большая вероятность в утренние часы. Третий эпизод полной потери данных в январе был связан с неудачным переходом на флеш-карты другой ёмкости.

На рис.7 показана зависимость процента потерь данных от температуры при различных уровнях облачности. Из графика видно, что существует антикорреляционная связь между температурой и логарифмом процента потерь ( $r=-0.75$ ) при ясной погоде. При температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  потери в среднем составляют 30%, выход на начальный уровень потерь (0.05%) возможен только при температуре на улице  $-2^{\circ}\text{C}$ , однако реально после завершения морозного периода выхода на прежний уровень потерь не наблюдалось, - установился новый стабильный уровень потерь, 940-960 измерений в сутки. Этому уровню потерь по графику соответствует температура около  $-10^{\circ}\text{C}$ . При пасмурной погоде корреляции не обнаружено, так как в этом случае разрядка аккумулятора могла быть связана не только с температурой, но и с отсутствием освещения.

Второй серьёзной проблемой стало зашумление сигнала и появление паразитных сигналов во время работы солнечной батареи и зарядки аккумулятора. Так как аккумулятор, батарея и контроллер заряда располагаются довольно близко (до 3 м) от ЦМВС, а ток зарядки может достигать 4 А, во время заряда возникают дополнительные поля амплитудой до 5 нТл (в основном по D-компоненте, см. рис.8), уровень которых зависит от освещённости батареи и степени разрядки аккумулятора. В случае, если облачность переменная,

наблюдаются ложные вариации, вызванные этими токами. Анализ показал, что помехи проходят через три стадии. В момент первого освещения солнечными лучами батареи по D-каналу возникает серия импульсов амплитудой до 2 нТл с экспоненциальным спадом сигнала. Аналогичная картина, но с меньшей амплитудой (0.3 нТл) наблюдается по Z-каналу, но положительному импульсу предшествует краткосрочный отрицательный выброс. В записи горизонтальной компоненты прослеживаются только моменты импульсов, которые дают положительные выбросы амплитудой до 2 нТл. Видимо, эти выбросы связаны с работой контроллера зарядки, обычно их наблюдается более полусотни, интервал между ними меняется от 7 с вначале до 2 с в конце. После завершения серии импульсов наблюдается увеличение

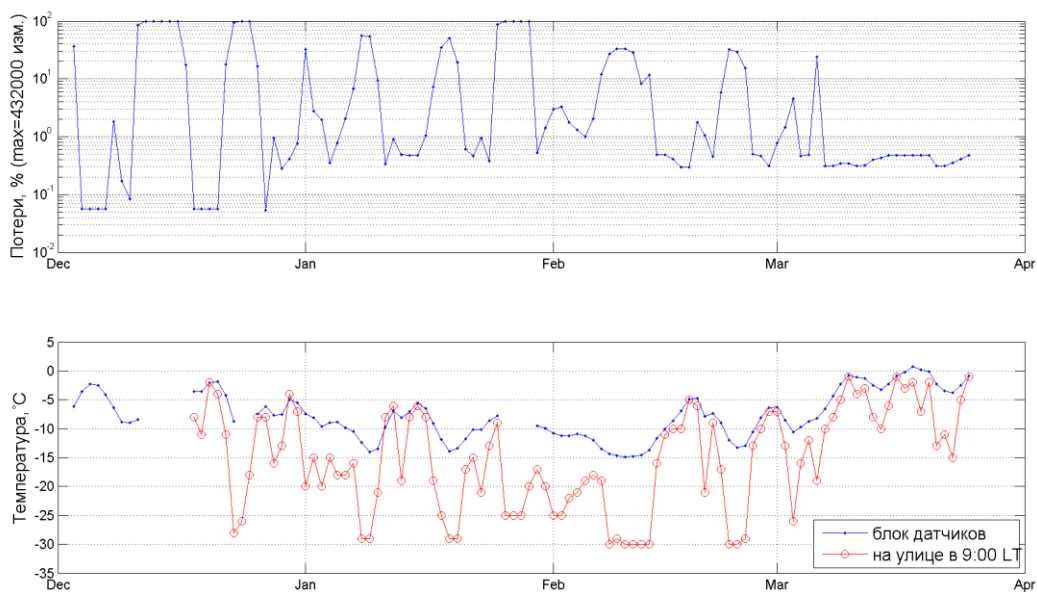


Рис. 6. Потери данных (верхняя панель) и температура (нижняя панель) за 4 месяца работы пункта.

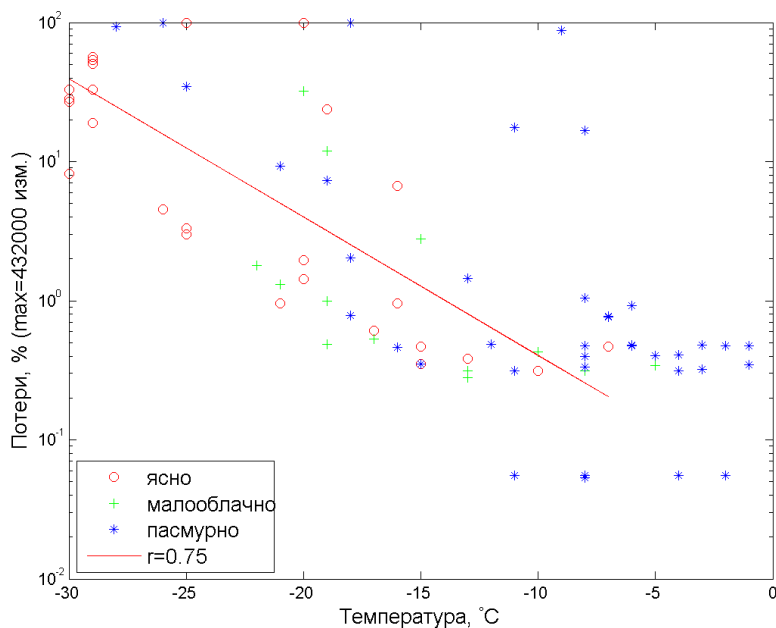


Рис.7. Зависимость потерь данных от температуры при различных уровнях облачности. Также показана прямая регрессии для ясной погоды.



шумовой дорожки: по H-каналу шум сразу же усиливается с сотых долей нТл до десятых долей, по остальным каналам зашумление растёт не столь значительно. Далее шум на всех каналах увеличивается, достигает максимума около местного полудня (до 0.5 нТл для горизонтальной компоненты, 0.2 нТл – для восточной, 0.1 нТл – для вертикальной), а потом постепенно спадает. Во второй половине дня время от времени наблюдается режим «помех выпрямления», - в этом случае по D- и Z-каналам наблюдается помеха в виде однополупериодной синусоиды с периодом около 20 с и амплитудой до 3 нТл и 0.3 нТл соответственно. При заходе солнца за горы поле резко меняется (в основном, заметно изменение восточной компоненты – на 5 нТл, по остальным каналам скачок не очень резкий), и шумы исчезают, снижаясь по всем каналам до сотых долей нТл.

Кроме того, в спектре сигнала во время работы солнечной батареи возникают гармоники с частотой 1.5, 0.5, 0.045 Гц. Интересно, что сразу после замерзания озера (19 января) ширина шумовой дорожки возросла на порядок. В декабре солнце освещало солнечную панель не более 4 часов (оно быстро пряталось за гору на южной стороне озера), однако в марте время освещенности значительно выросло. Такое состояние измерительной системы, конечно, неприемлемо. В дальнейшем планируется аккумулятор разместить в отапливаемом помещении, туда же вынести солнечную батарею, а питание осуществлять по кабелю переменным током. Это позволит избежать наводок и шумов от солнечной батареи, а также снижения ёмкости аккумулятора во время морозов. Кроме того, планируется увеличить мощность пассивной термозащиты и ввести активную систему термостабилизации.

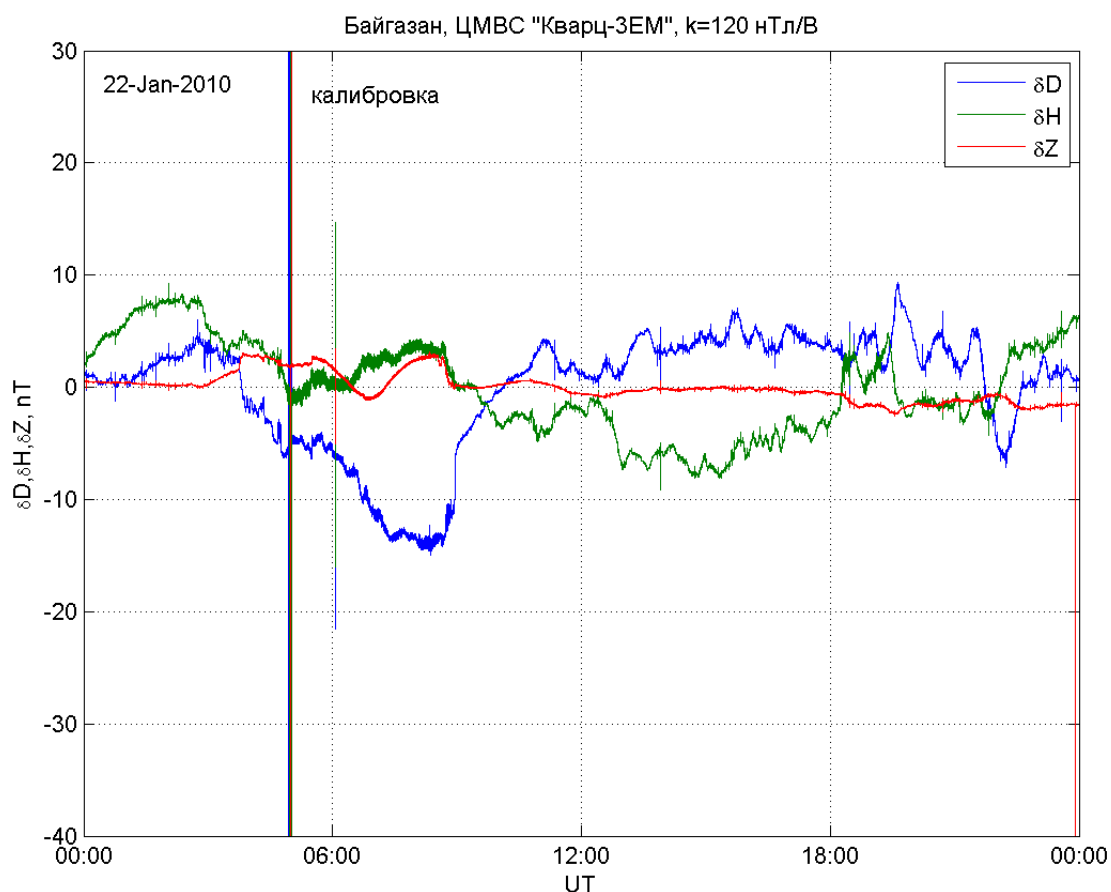


Рис.8. Пример записи магнитных вариаций на Байгазане 22 января 2010 г. Хорошо видны резкие скачки по D-компоненте, возникающие при восходе (уменьшение около 04:00 UT) и заходе (увеличение около 09:00 UT) Солнца за горы амплитудой около 5 нТл и синхронное с ними изменение Z-компоненты амплитудой около 1 нТл. На всех каналах во время работы солнечной батареи наблюдается сильный шум амплитудой 0.1- 1 нТл. Также в течение всего дня заметны импульсные помехи, синхронно проявляющиеся на всех каналах.

Неожиданной проблемой оказалось появление импульсных помех после замерзания озера. Видимо, они связаны с растрескиванием льда и имеют сейсмогенную природу. Так, в работе (Ружич и др., 2009) на примере Байкала показано, что при суточных вариациях температуры за счет термического расширения (коэффициент  $\alpha = 9.1 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ ) и средней ширине акватории Байкала 50 км одноактное суточное расширение ледяного покрова может достигать 45 м. В результате возникают значительные напряжения и ледовые удары с энергией  $10^4 \div 10^5$  Дж (магнитуда  $M=0.3-0.8$ ), что сопоставимо с горными ударами средней силы или слабыми землетрясениями. Для Телецкого озера («маленький Байкал») расширение льда в продольном направлении можно оценить схожей величиной, а в поперечном – на порядок меньшей. Тем не менее, значительная акватория озера также создаёт условия для развития ледовых ударов, которые могут фиксироваться ЦМВС «в режиме сейсмографа».

Ещё один важный вопрос, связанный с работой станции – это стабильность базисных уровней. На новой станции пока не налажены абсолютные измерения, поэтому судить об этом можно только косвенно. На рис. 9 показаны графики среднесуточных значений компонент геомагнитного поля с 17.12.2009 по 26.03.2010. Их сравнение с данными IGRF-10 эпохи 2010 г., рассчитанной для Байгазана ( $dH/dt = -35.5 \text{ нТл/год}$ ,  $dY/dt = -15.2 \text{ нТл/год}$ ,  $dZ/dt = 33.7 \text{ нТл/год}$ ) показывает, что только по Z-компоненте знак изменения поля совпадает с моделью нормального поля. Это может свидетельствовать о нестабильности основания постамента – видимо, происходит его усадка после строительства. Возможны также региональные и локальные особенности тренда поля, а также нестабильность электроники ЦМВС. Резкие изменения среднесуточных средних во второй половине февраля связаны с геомагнитными возмущениями.

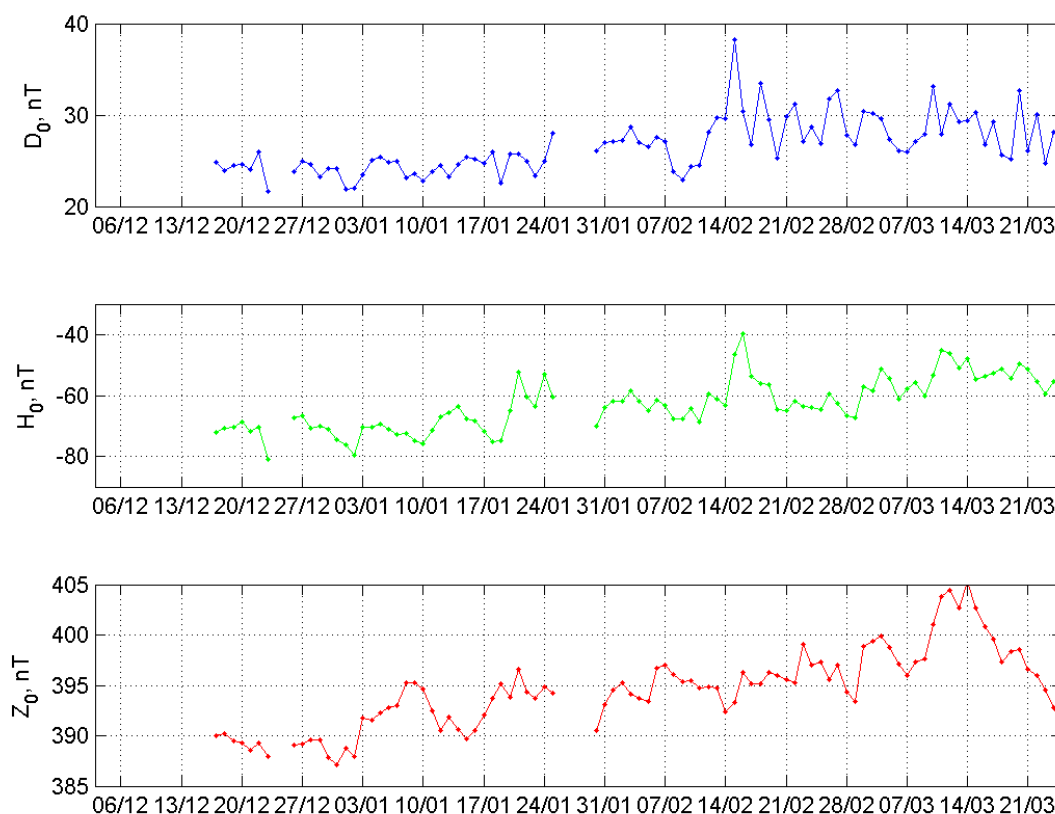


Рис.9. Дрейф среднесуточных значений компонент геомагнитного поля на кордоне Байгазан за период с 17.12.2009 по 25.03.2010 г.

## Заключение

На кордоне Алтайского заповедника Байгазан с 03.12.2009 г. ведется непрерывная регистрация вариаций трёх компонент геомагнитного поля при помощи цифровой магнитовариационной кварцевой станции «Кварц-ЗЕМ». Опыт измерений показал, что в связи с удаленностью от промышленных районов на кордоне возможна уверенная регистрация вариаций при ширине шумовой дорожкой до 0.02 нТл, что даже превышает требования INTERMAGNET.

За первый зимний сезон выявлены характерные технические проблемы, возникающие при регистрации: потери данных при низких температурах, зашумление сигнала при работе солнечной батареи, импульсные помехи. Намечены методы решения этих проблем.

## Литература

1. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровые магнитовариационные станции // 170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние: Материалы Международного семинара (Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г.) – Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. - С. 19-23.
2. Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитовариационная станция «Кварц-4» для магнитных обсерваторий // там же. - С.38-41.
3. Гвоздарев А.Ю., Дмитриев А.Н., Шитов А.В., Лукьянов А.И. Исследование магнитных вариаций в эпицентральной зоне Алтайского (Чуйского) землетрясения // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны / Ежегодный международный сборник науч. статей. – Вып.2. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2005. – С.22-26.
4. Кудин Д.В., Учайкин Е.О. Разработка регистратора данных для цифровой магнитовариационной станции «Кварц-ЗЕМ» // Материалы XLVII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии / Новосибир. гос. ун-т. – Новосибирск, 2010. - С.172-173.
5. Кузнецов В.В., Хомутов С.Ю. Результаты наблюдений атмосферного электричества, геомагнитного поля и инфразвука в период афтершоковой активности Чуйского землетрясения (Алтай, 27.09.2003) // Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия: Материалы науч.-практ. конф. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2004. – С. 66-81.
6. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. - 140 с.
7. Птицина Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И., Ючки Н., Тясто М.И. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // УФН – 1998. – Т. 168, №7. – С. 767–791.
8. Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н., Борняков С.А., Гранин Н.Г. Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал // Геология и геофизика. – 2009. – Т.50, №3. – С. 289-299.
9. Уткин В.И. Сокол-Кутыловский О.Л. Техногенный магнитный шум в пределах мегаполиса и удалении от него // 170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние: Материалы Международного семинара (Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г.) – Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. - С. 173-175.