

ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПУНКТА РЕГИСТРАЦИИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ¹

А.Ю. Гвоздарев¹, А.И. Бакиянов¹, А.А. Бетёв¹, П.Б. Бородин², С.Ю. Хомутов³

¹Горно-Алтайский государственный университет

²Геофизическая обсерватория «Арти», Институт геофизики УрО РАН

³Геофизическая 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 (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 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 (5 нТл/м в радиусе 1-2 км); 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.

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, вандалозащищённость, 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.

¹ Работа поддержана грантом РФФИ 09-05-98014_p_сибирь_a

Таблица.

Результаты рекогносцировки магнитного поля на кордонах Алтайского заповедника

№	Кордон	Длина маршрута, км	Пределы изменения поля, нТл	Примечание
1	Байгазан	34.39	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.

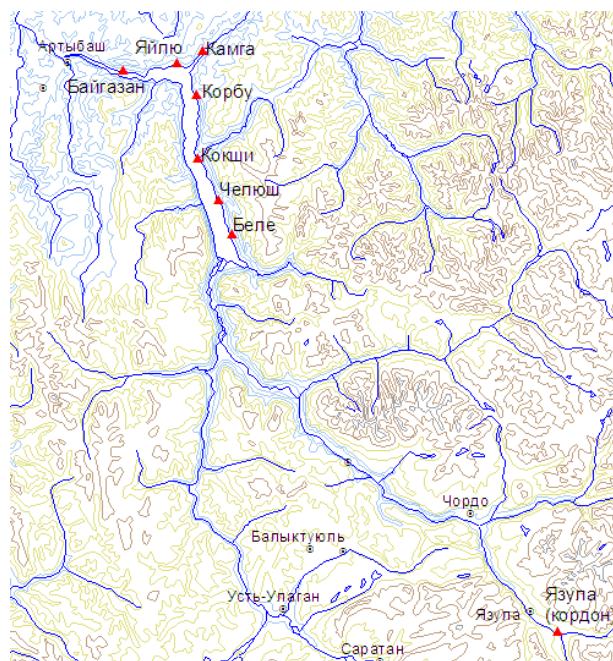


Рис. 1. Расположение обследованных кордонов Алтайского заповедника (отмечены треугольниками)

В основном кордоны заповедника находятся на правом берегу Телецкого озера, и лишь два – Язула и Чодро – в долине Чулышмана. С Чодро автомобильного сообщения нет, в Язулу от Саратана идёт отсыпанная дорога через горный перевал длиной 54 км, далее 5 км от деревни Язула до кордона – грунтовая дорога через заболоченную местность. Кордоны, находящиеся в южной части Телецкого озера, труднодоступны в зимнее время, так как озеро замерзает лишь на участке Артыбаш – Яйлю. В связи с этим в качестве наиболее перспективных рассматривались кордоны Байгазан, Камга и Язула. Летом 2009 г. была проведена площадная пешеходная съемка окрестностей кордонов Язула, Байгазан (в радиусе 1 км от кордона с расстоянием между маршрутами 200 м) и рекогносцировочная съёмка вблизи кордона Камга.

Магнитная съёмка окрестностей кордона Язула

27.06-30.06 работы велись в районе кордона Язула. Дорога на кордон идет через Саратан и далее через водораздел между Башкаусом и Чулышманом, на картах-двухкилометровках не показана, хотя отсыпана и снабжена дорожными знаками. Кордон расположен в 5 км от села Язула на берегу реки Кулаш, недалеко от места впадения Каракема в Чулышман и представляет собой старую заставу на бывшей границе с Тувой (Тувинская республика присоединилась к СССР только во время Великой Отечественной войны). Постройки из лиственницы времен 30-х годов прекрасно сохранились благодаря сухому климату. Высота кордона над уровнем моря около 1600 м. На кордоне живут два егеря. Энергоснабжение кордона – от гидроэлектростанции на р. Кулаш барнаульского производства и дизельного генератора. Связь с кордоном - по радию, осуществляется два раза в сутки, приём нестабильный.

Окрестности кордона характеризуются довольно сложной геологической обстановкой. Кордон расположен на террасе р. Чулышман, сложенной четвертичными отложениями, прорезанной р. Кулаш. К югу и западу от кордона породы представлены гранитами, рельеф здесь ровный, граниты перекрыты четвертичными отложениями и обнажаются только на взлобках террас (около кордона и у р. Чулышман). Череда возвышенностей в северном секторе отмечает смену гранитов на кристаллические (кварц-серицитовые, кварц-биотитовые, кварц-биотит-кордиеритовые) сланцы (Чулышманский метаморфогенный комплекс, нижний ордовик), причём они прорезаны слоями с повышенным содержанием магнетита. Гора к востоку от кордона сложена хлоритизированными песчаниками и глинистыми сланцами (средняя толща горно-алтайской серии, средний кембрий – нижний ордовик). Примерно в километре к северо-востоку от кордона проходит палеорусло Чулышмана, хорошо проявленное в рельефе – именно по нему проходит граница заповедника.

Магнитная съёмка окрестностей кордона проводилась при помощи мобильного магнитометра MMPOS на основе процессорного оверхаузеровского датчика POS-1 (абсолютная точность 0.1 нТл). Определение географических координат точек измерения осуществлялось при помощи GPS Garmin GPSmap 60 (точность 3-5 м, в тяжёлых условиях до 15 м). Съёмка велась в «режиме прогулки» - при этом магнитометрист свободно перемещался по маршруту, измерения осуществлялись в автоматическом режиме (обычно с периодом 5 сек), а данные измерений магнитометра, время и географические координаты измерений регистрировались в накопителе данных магнитометра. Второй член маршрутной пары занимался фотосъёмкой и делал контрольные записи о значениях поля через 75 пар шагов (примерно 100 м). В ряде случаев для определения координат использовались данные о треке, записываемые в память GPS. Профиля съёмки закладывались параллельно р. Кулаш с расстоянием между ними около 200 м (150 пар шагов).

В качестве вариационной станции при проведении магнитных съёмок использовался оверхаузеровский магнитометр POS-1, предоставленный обсерваторией «Ключи». Датчик магнитометра был установлен на поляне к северу от казармы на немагнитную треногу на высоте 70 см, для защиты от влаги он был накрыт двойным полиэтиленовым пакетом. Блок электроники также поместили в полиэтиленовый пакет, место выхода проводов замотали изолентой, от него в казарму на расстояние около 50 м провели кабель. Управление измерениями и регистрация данных измерений осуществлялась специализированным ПО VarStat, запущенным на ноутбуке «Hitachi», размещенным в казарме. Питание ноутбука и магнитометра осуществлялось от аккумуляторной батареи ёмкостью 60 А-часов. На вторые сутки работы для подзарядки аккумуляторная батарея была подключена к электрической сети кордона через зарядное устройство «Кедр».

Результаты измерения вариации поля 28-30 июля 2009 г. на кордоне Язула показаны на рис. 2. При этом из файла вариаций (39 188 значений) исключены 67 выбросов амплитудой от 1 до 145 нТл, связанных либо с подходом людей к датчику магнитометра, либо (предположительно) с помехами по питанию. Там же приведены результаты измерений во

время съёмки за вычетом вариации поля (аномальное поле, 7959 значений). При этом делалась линейная интерполяция вариации на моменты измерения поля в пакете MATLAB. На рис. 3 приведено распределение аномального поля, построенное при помощи линейной интерполяции результатов измерений на сетку с шагом 25 м при помощи триангуляции Делоне в пакете MATLAB.

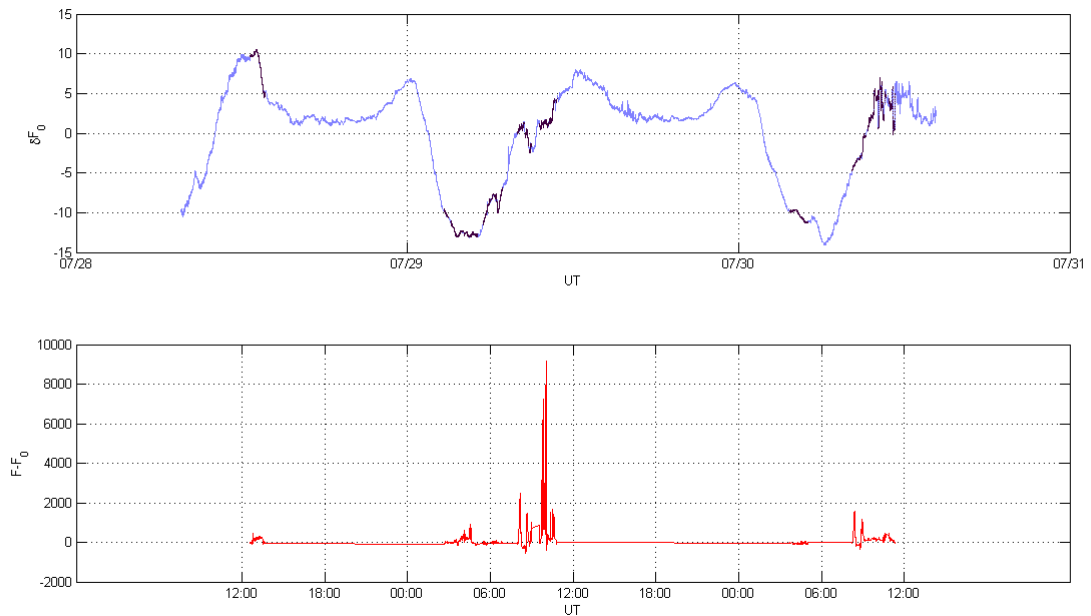


Рис. 2. Вариация поля (верхняя панель, тёмным цветом помечены отрезки времени, во время которых проводилась съёмка) и результаты измерений во время съёмки за вычетом вариации (нижняя панель). Выбросы исключены.

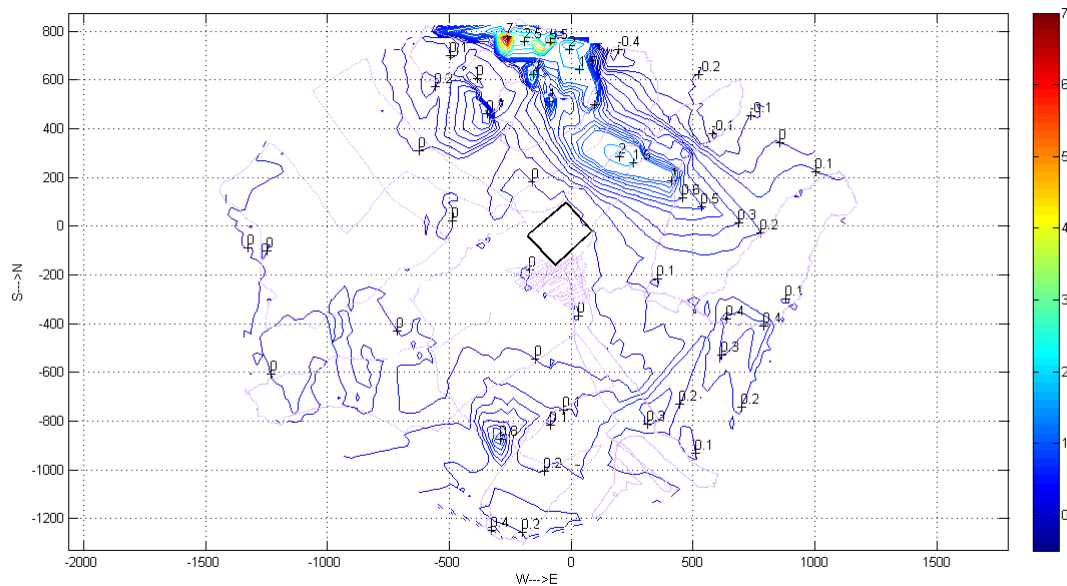


Рис. 3. Распределение аномального поля (в 1000 нТл) вблизи кордона Язула (очерчен прямоугольником). Изолинии проведены через 100 нТл. Маршруты съёмки показаны пунктирной линией. Начало координат в точке размещения вариационной станции

На распределении хорошо видна аномалия северо-западного простирания с амплитудой до 7000 нТл, ось которой проходит в 400-500 м от кордона. Согласно геологической карте,

магнитная аномалия связана с пластом магнетитсодержащих сланцев, образцы которых наблюдались нами в обнажениях на склонах и по руслу Кулаша. На местности аномалии поля соответствуют возвышенности к северу от кордона, причем максимумы поля отмечаются вблизи их вершин и на безлесных юго-западных склонах, а покрытым лесом северо-восточным склонам соответствует постепенное снижение поля и слабые отрицательные аномалии. Эти области понижение поля, следующие за повышением, видимо, свидетельствует о наклонности магнетитсодержащего пласта. На маршруте по руслу Кулаша максимуму поля соответствует обрыв на левом берегу в 400 м от кордона, а понижению – широкий разлив реки. Заметим, что эта аномалия с максимальным значением 11600 нТл отмечалась и по данным аэромагнитной съёмки, выполненной под руководством Мамонтова Н.Ф. в 1982 г. (масштаб М 1:25000), результаты которой были любезно предоставлены нам сотрудниками ФГУЗ. Однако на ней аномалия приходится прямо на территорию кордона (бывшая застава), чего мы не наблюдали.

Таким образом, на расстоянии менее километра от кордона находится магнитная аномалия значительной амплитуды. Однако на северной поляне кордона, где находилась вариационная станция, её влияние приводит к наличию горизонтального градиента 2 нТл/м, а на площадке к югу от кордона оно уже не чувствовалось. Пробными замерами здесь были обнаружены точки с низкими значениями градиента магнитного поля. 30 июля на площадке была проведена магнитная съёмка с расстоянием между маршрутами около 10 м (рис.4). На распределении поля хорошо видны небольшие аномалии в западной части площадки амплитудой 60-80 нТл, понижение поля в центральной части, на местности совпадающее с промоиной, и слабая дипольная аномалия амплитудой около 20 нТл в восточной части террасы.

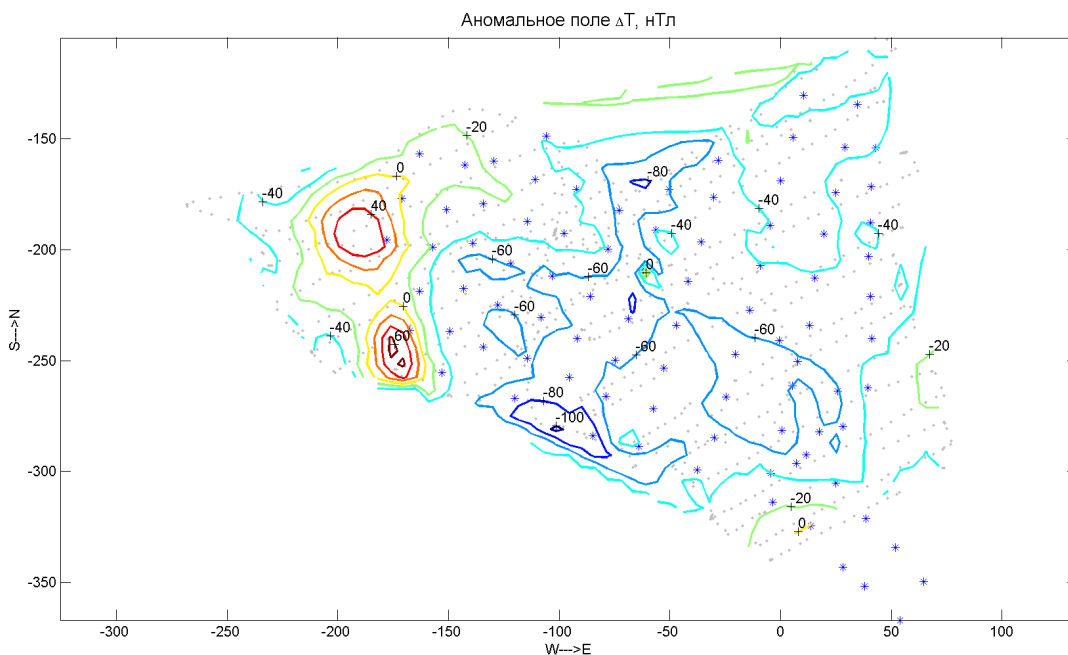


Рис.4. Распределение аномального поля (с учетом вариации) на площадке к югу от кордона Язула. Изолинии проведены через 20 нТл. Точками показаны пункты измерения при площадной съёмке, звёздочками – пункты градиентной съёмки. За ноль координат принято положение вариационной станции.

Была проведена съёмка градиента поля на части палеотеррасы, прилегающей к кордону с юга, по квадратной сетке с шагом 20 м. Измерения расстояний проводились с помощью рулетки, при измерениях велась запись координат точек замера по GPS. При этом делалось 8 измерений поля «по кубуку»: четыре измерения на высоте 0.5 м (на уровне колена) на углах квадрата с ребром 1.5 м и четыре – на высоте 1.5 м (высота штанги магнитометра) по тому же квадрату. Один из членов маршрутной пары работал с датчиком, а другой с

регистратором, в результате чего достигалось максимальное расстояние от датчика до регистратора (2.5 м). Необходимость такого порядка работы возникла в связи с тем, что регистратор содержит магнитные материалы и на расстоянии менее 1 м дает помеху около 20 нТл, - в результате при попытках измерять градиент в одиночку в любой точке получался вертикальный градиент около 40 нТл/м.

По результатам измерений в вершинах куба определялись средние значения вертикального, северного, восточного и полного градиента для точки, и путем линейной интерполяции рассчитывалось распределение градиента поля (рис.5). Интересно, что при учёте вариации поля распределение существенно не менялось, видимо, при усреднении 4 значений для каждой компоненты градиента ошибки значительно снижаются. Как видно из рис.5, на большей части террасы градиент не превышает 5 нТл/м и есть несколько точек, в которых градиент поля не превышает 2 нТл/м, - таким образом, можно найти площадку для размещения пункта регистрации.

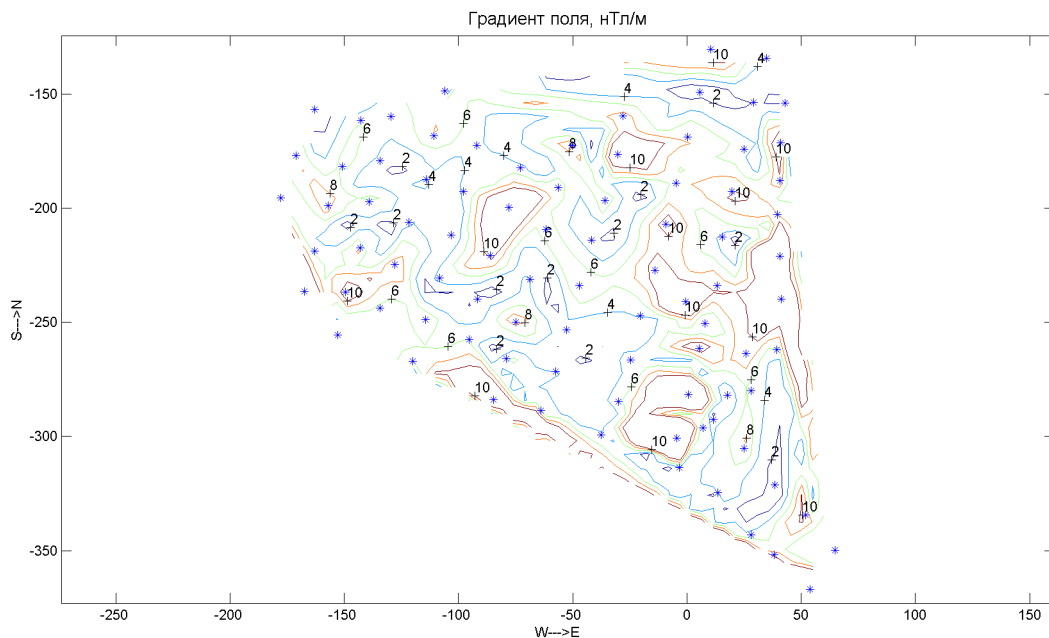


Рис.5. Вверху – процедура съёмки, показаны первые два измерения и переход на следующую, южную точку: в качестве меры использовалась длина штанги, внизу - распределение градиента поля. Изолинии проведены через 2 нТл/м, для значений выше 10 нТл/м не показаны.

Магнитная съёмка окрестностей кордона Байгазан

На втором этапе была проведена съёмка окрестностей кордона Байгазан, который находится на северном берегу Телецкого озера, в 15 км от Артыбаша. 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). По сравнению с Язулой здесь более тёплый, но и более влажный климат, меньше солнечных дней.

Согласно геологической карте, в окрестностях кордона представлены осадочные породы верхнего ордовика (песчаники кварцевые и аркозовые, глинистые и известково-глинистые сланцы, мергели, алевролиты, глинистые известняки, конгломераты) и вулканические породы тарболинской свиты верхнего девона D_3tr (эффузивы и туфы среднего состава, вулканические брекчии).

7-9 августа 2009 г. в окрестностях кордона была проведена магнитная съёмка. Съёмка осуществлялась по той же методике, что и в Язуле. Вариационная станция была установлена на поляне к северу от дома егеря в точке с координатами $N51^{\circ}45.587' \pm 0.003'$, $E87^{\circ}25.928' \pm 0.005'$, где предварительная съёмка показала низкое значение градиента поля. В качестве энергоисточника для неё использовалась солнечная батарея. Аккумулятор, контроллер энергосистемы и ноутбук были установлены в палатке в 14 м от датчика вариометра к западу, панель солнечной батареи находилась ещё на 4 м западнее.

Съёмка проходила в условиях труднопроходимой горно-таежной местности, перепад высот на исследуемой территории составлял 500 м при длине профиля около 1 км – то есть средний угол подъема был равен 30 градусам (естественно, что вдали от озера этот угол повышался). Также затрудняла движение высокая трава в рост человека и бурелом (в условиях заповедника рубка деревьев запрещена, и деревья, окончив свой век, падают на землю, а потом зарастают папоротником и травой). В частности, наличие бурелома довольно сильно осложняло траверсы на крутых склонах, поэтому и было принято решение о закладке маршрутов вкрест рельефа. После первого же дня была выработана следующая стратегия: подъем осуществлялся вдоль узких безлесных впадин, по-видимому, трассирующих разломы меридионального направления. Пока скал не было, маршрутная пара двигалась параллельно лощине, примерно в 15-20 м от нее. Когда начинались скалы, подъем осуществлялся по лощине, при удалении от кордона на расстояние 1100 м (фиксировалось по GPS) производился переход траверсом на соседний маршрут, который также закладывался вдоль наиболее удобной лощины. Контрольные замеры поперек впадин показали, что магнитное поле при этом меняется обычно не более чем на 15 нТл.

Обычно при подъеме сначала был довольно крутой склон, заканчивающийся относительно ровной площадкой на высоте около 200 м над уровнем озера. Все это время попадались в основном окатанные камни, видимо, движение проходило по боковой морене палеоледника (заметим, что согласно геологической карте, верхняя терраса вблизи посёлка Яйлю имеет ледниковое происхождение). Далее опять начинался крутой подъем, при этом начинали попадаться скальные обнажения – то есть маршрутная пара выходила на коренные породы.

Данные съёмки за несколько дней были сведены в один файл и очищены от выбросов. При этом выяснилось, что 820 значений, полученных 9 августа во время прохождения текущего маршрута, не привязаны к местности – во время съёмки была отключена передача данных с GPS в накопитель данных магнитометра. Поэтому координаты были рассчитаны по данным GPS. Для этого данные трека GPS были скачаны при помощи специализированного программного обеспечения MapSource Garmin, и два трека, содержащие 13 и 198 отрезков соответственно (из них использовано около 120), переброшены в текстовый файл. Файл

содержал данные о времени и координатах в начале отрезка, его длине и длительности по времени, азимуте перемещения. По ним при помощи MATLAB были рассчитаны координаты во время измерений. В остальном обработка данных была аналогична.

Второй этап съемки был проведён 26 марта 2010 г. – при этом снималось магнитное поле на акватории озера (по льду). Профили закладывались на расстоянии около 200 м друг от друга в направлении перпендикулярно берегу (также было пройдено два секущих профиля). В качестве вариационной станции использовались измерения вариаций горизонтальной δH и вертикальной компонент δZ при помощи ЦМВС, которые пересчитывались в вариацию полного вектора δF на основе значений компонент поля по модели нормального поля IGRF-10 ($H=18800$ нТл, $Z=56303$ нТл, $F=59359$ нТл) по формуле

$$\delta F = \frac{H}{F} \delta H + \frac{Z}{F} \delta Z .$$

При сведении августовских и мартовских измерений учитывалось, что в павильоне поле выше на 25 нТл, чем в точке размещения вариационной станции в августе (см. рис. 7), а нормальное поле выросло с августа по март на 13 нТл.

Распределение аномального поля (измеренное за вычетом поля вариации) в окрестности кордона Байгазан показано на рис.6. Как видно из рисунка, поле меняется в пределах 400 нТл, в целом оно увеличивается с высотой, что, по всей видимости, связано со слабой намагниченностью пород вдоль поля. В западной «материковой» части поле несколько ниже, над акваторией прослеживается обратная тенденция. Основные аномалии обоих знаков сконцентрированы в прибрежной полосе – ближайшая, с амплитудой 250 нТл расположена на расстоянии 180 м от павильона. Кроме того, прослеживается ряд аномалий с повышением поля, трассирующий борт палеоморены на расстоянии около 400 м от берега озера – на местности ему соответствует полоса осин на высоте около 200 м над уровнем озера. В 1 км к западу от павильона обнаружена аномалия амплитудой около 200 нТл, в пределах которой росли очень большие сосны. Над акваторией прослеживается цепочка областей с пониженными значениями поля на расстоянии 500 – 1000 м от берега.

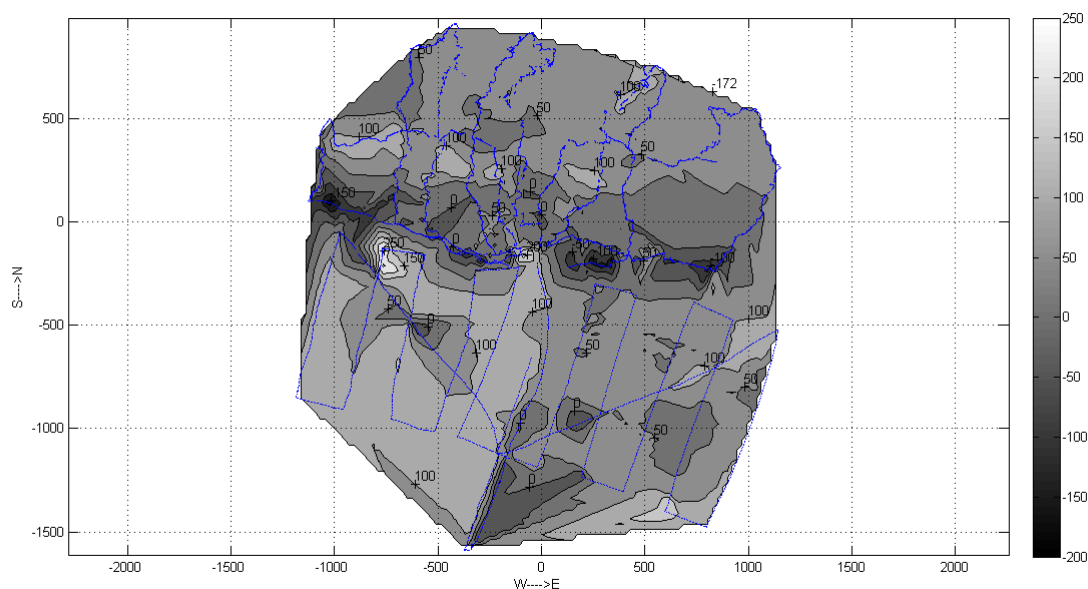


Рис.6. Результаты площадной съемки окрестностей кордона Байгазан. Усредненные данные, шаг сетки 25 м, линейная интерполяция. Изолинии проведены через 50 нТл. Маршруты съёмки показаны линией. Начало координат соответствует положению павильона ($N51^{\circ} 45.5955'$ $E87^{\circ} 25.9157'$).

10 августа была произведена градиентная съёмка на поляне к северу от дома егеря. В каждой точке проводилась серия из 8 измерений «по кубику». Первый профиль был заложен вдоль меридиана, затем пройдено 5 субширотных профилей с шагом сетки около 15 м. Результаты измерений показаны на рис.7. Области высоких градиентов в западной части поляны связаны с ферромагнитным загрязнением – здесь залегала железная труба, которую в дальнейшем (в декабре 2009г.) убрали. В восточной части поляны находится область с низким значением градиента поля (ниже 2 нТл/м). На границе этой области была выбрана точка для расположения вариационного павильона. Повторные измерения в декабре 2009 г. показали, что градиент на поляне уменьшился – видимо, благодаря тому, что была убрана железная труба на краю поляны.

По записям вариационной станции было проверено отсутствие магнитных возмущений на поляне при подходе к кордону судов любой грузоподъёмности, курсирующих по Телецкому озеру.

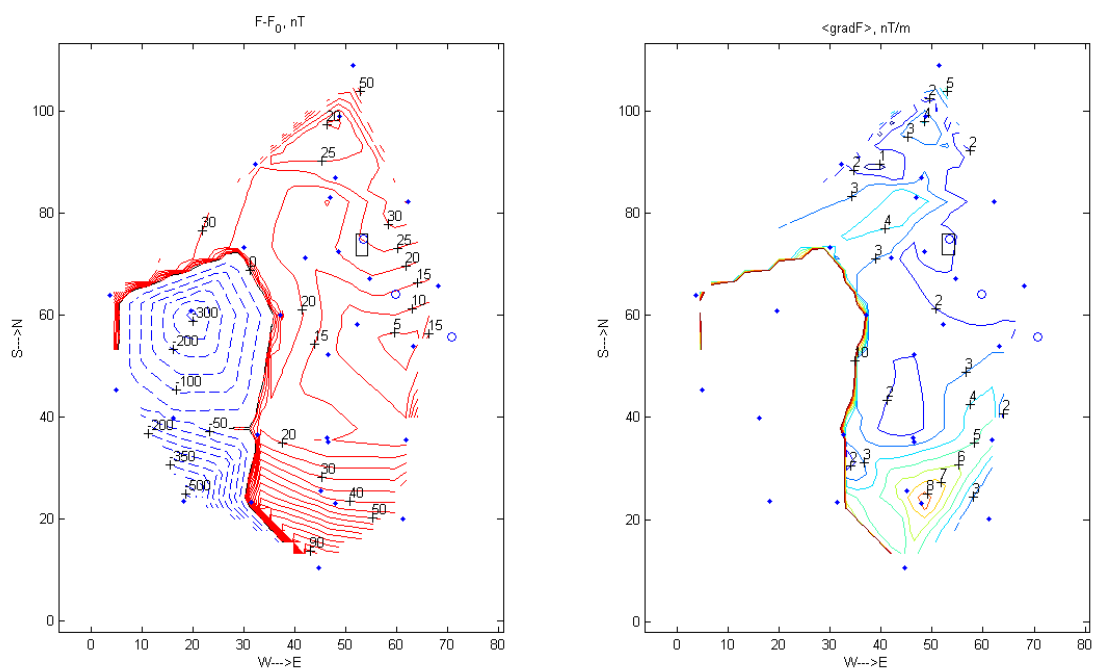


Рис. 7. Распределение поля (слева) и его градиента (справа) по результатам измерений 10.08.2009. Распределение градиента в возмущенной области не показано. Положение павильона показано прямоугольником, точками – места измерений, кружками – положение ЦМВС и POS.

Выводы

В результате экспедиционных работ выявлена максимальная однородность геомагнитного поля вблизи кордона Байгазан (разброс значений не более 400 нТл в радиусе километра от кордона), в связи с чем выбрана площадка (с градиентом поля ниже 2 нТл/м) для размещения пункта регистрации геомагнитных вариаций на его территории. Важными особенностями этого кордона является также его относительная близость (15 км от Артыбаша, около 100 км от Горно-Алтайска), доступность в течение всего года, наличие сотовой связи, высокая вандалозащищённость (подъезд только по озеру) и относительно тёплая зима. Недостатком кордона является повышенная влажность.

Литература

1. 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.

2. *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.
3. *Нечаев С.А.* Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. - 140 с.
4. *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.