

4. Галушкин А.И. общая редакция. Нейроматематика. Кн.6. М.: ИПРЖР. 2002. 448 с.
5. Мандрикова О.В., Горева Т.С. Метод идентификации структурных компонентов сложного природного сигнала на основе вейвлет-пакетов. - Научно-технический журнал "Цифровая обработка сигналов" № 1-2010 г., с.45-50.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ ВЫСОКОТОЧНОЙ НАЗЕМНОЙ СЪЕМКИ

THE MAGNETIC FIELD OF BAIKAL RIFT AS RESULTS OF PRECISION SURFACE SURVEY

Р.А.Рахматулин¹, С.Ю.Хомутов², В.В.Харченко¹, Ю.В.Липко¹

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, rav@iszf.irk.ru

²Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, khomutov@gs.nsc.ru

The results of the precision magnetic survey during 2009-2010 on Lake Baikal ice to the north of the Olkhon Island and on the Olkhon Island are presented. The main traverse of survey was routed along the Academic ridge from Olkhon Island to Bolshoy Ushkany Island and other tracks were routed across the main track. The Overhauser proton magnetometer POS-1 used for measurements of total field F . The angular components of the total vector (declination D and inclination I) measured by DI-fluxgate 3T2KP and the spatial variations of the vertical component dZ measured by magnetometer M-27M. The spatial resolution along the route is about 5 km for F and dZ and about 10 km for total field. The accuracy of the measurement is estimated as about 0.5 nT, 1 arcmin and 0.2 arcmin for F , D and I , accordingly. The data from magnetic observatories Uzur (Olkhon Island), "Patrony" (Irkutsk) and "Klyuchi" (Novosibirsk) were used for control the geomagnetic variations during survey. As the results of magnetic survey the maps of distribution of magnetic field in central part of Baikal Lake between Olkhon and Bolshoy Ushkany islands were obtained. This maps were compared with the results of previous surveys. The large-scale magnetic anomaly which not presented on magnetic maps of this region was found in survey area. The features of the precise magnetic survey on ice surface are discussed.

Экспериментальные исследования Байкальской рифтовой зоны, включая ее центральную часть – оз.Байкал, имеют длительную историю. В тоже время, магнитное поле этого региона изучено недостаточно подробно, преимущественное по результатам аэромагнитной съемки в 60-х годах [1], гидромагнитной съемки на акватории в начале 70-х годов [2] и по данным непрерывных измерений в отдельных пунктах [3]. В связи с этим ИСЗФ СО РАН были инициированы работы по проведению высокоточной магнитной съемки полного вектора магнитной индукции на льду центральной части оз.Байкал, к северу от о.Ольхон, на котором расположена обсерватория "Узур".

Используемая аппаратура, район работ, условия измерений

Комплекс для проведения компонентной магнитной съемки с поверхности льда включал высокоточные магнитометры обсерваторского класса, в том числе:

- 1) протонный оверхаузеровский магнитометр POS-1 (УГТУ-УПИ, г.Екатеринбург), обеспечивающий измерения модуля вектора магнитной индукции F с погрешностью не хуже 0.2 нТл. Для управления и регистрации данных использовался полевой накопитель DLPOS;
- 2) DI-магнитометр для измерения магнитного склонения D и наклона I на базе немагнитного теодолита 3T2KP и феррозондового датчика в качестве нуля-индикатора положения. Инструментальная погрешность угловых параметров магнитного поля оценивается не более 5-10". Для установки прибора в пункте измерения использовался специальный немагнитный штатив;
- 3) пешеходный магнитометр M-27M для измерения пространственных изменений вертикальной компоненты ΔZ с приборной погрешностью 4-5 нТл.

Все приборы были протестированы на обсерваториях "Ключи" (Новосибирск) и "Патроны" (Иркутск), в том числе и в зимних условиях. Геодезические координаты и точное время в полевых условиях определялись с помощью GPS-навигатора Garmin. Для перемещения вдоль маршрута съемки использовались два автомобиля УАЗ-3909.

Район работ предварительно был выбран по результатам анализа магнитной изученности оз.Байкал, с учетом наличия стационарных наблюдений (станция "Узур" на севере о.Ольхон) и возможностью обеспечить приемлемые условия для измерений и ночевки. Первый профиль для съемки был запланирован вдоль Академического хребта от о.Ольхон до о.Большой Ушканий, два других – в поперечном направлении. Положение района проведения магнитной съемки показано на рис.1. Общая протяженность профилей около 150 км, количество пунктов dZ, F -измерений – 32, пунктов измерений полного вектора (D, I, F) – 16.

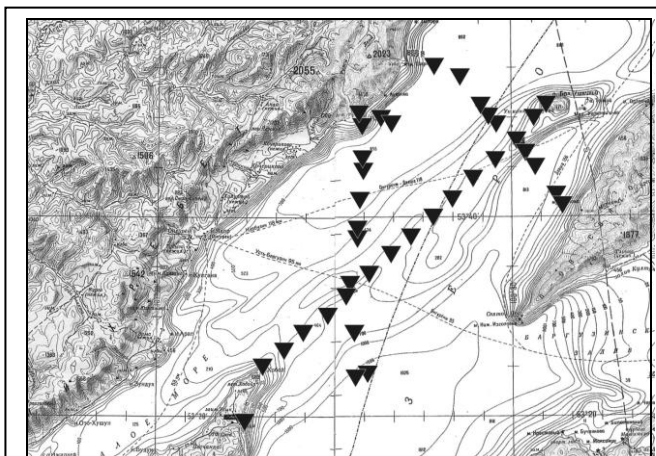


Рис.1 Расположение профилей магнитной съемки. Профиль 1 в направлении "ЮЗ-СВ" (мыс Хобой – о.Бол.Ушканий), профиль 2 – "СЗ-ЮВ" (мыс Шартлай – мыс Маркова), профиль 3 – "С-Ю" (мыс Рытый – акватория с максимальной глубиной).

Полевые измерения на льду были выполнены 6-8 марта, по одному профилю за сутки. Погодные условия были приемлемыми – температура в дневное время не опускалась ниже -10°C , ветер небольшой, 6 марта было солнечно, 7-8 марта – переменная облачность, небольшой снег. Ледовая обстановка также была благоприятной, без торосов, с достаточной толщиной льда. В период проведения съемки практически не было геомагнитных возмущений, К-индекс не превышал 1.

На каждом пункте выполнялось по два полных измерения D и I, затем – измерение F. Особенностью определения магнитного наклона является необходимость знать азимут некоторого удаленного репера, в качестве которого выбирался объект на берегу, а при отсутствии видимости – автомобиль, который отъезжал на 1-2 км. Азимут репера определялся

либо по астрономическим наблюдениям Солнца (погрешность не более $0.5'$), либо по геодезическим координатам репера и точки наблюдений, полученным с помощью GPS (погрешность по результатам сопоставления с астрономическим азимутом оценивается в $1-2'$). Продолжительность полного цикла измерений в одном пункте с учетом установки магнитометров занимает от 30 до 60 мин., в зависимости от способа определения азимута репера.

По результатам анализа и обработки данных погрешности определения склонения (без учета возможных ошибок в определении удаленного репера) оцениваются в $1-1.5'$, погрешности наклона – в $0.1-0.2'$. Точность F-измерений с помощью магнитометра POS-1 – не хуже 1 нТл , точность приращений dZ – на уровне первых десятков нТл. Более подробно описание особенностей магнитных измерений на льду представлено в [4].

Несмотря на то, что возмущения магнитного поля 6-8 марта практически отсутствовали, регулярная суточная вариация, проявляющаяся в дневное время, по данным непрерывной регистрации на станции "Узур" достигала $5'$ в склонении и 30 и 10 нТл в горизонтальной и вертикальной компонентах. Поскольку эти значения превышают погрешности полевых измерений, временные вариации магнитного поля были учтены.

Основные результаты и обсуждение

Результаты оценки пространственного распределения угловых D,I и силовых элементов X,Y,Z,F полного вектора магнитной индукции представлены на рис.2. В целом поле вдоль Академического хребта меняется достаточно плавно с перепадами по угловым компонентам до $20-30'$. В распределении D(Y) можно отметить хорошо оконтуриваемую отрицательную аномалию к северо-востоку от о.Ольхон. Изодинамы F дают более мозаичную картину с аномалиями более 400 нТл , отрицательными на восточном склоне хребта и положительными – на западном.

Поскольку рассматриваемый район находится на акватории озера, ранее выполненные аэро- и гидромагнитные съемки, охватывая более обширную площадь, ограничены данными практически только по распределению модуля напряженности F. Сопоставление полученных здесь результатов с картой изодин аномального поля, построенной М.Р.Новоселовой [5] по материалам съемки А.Г.Анистратенко и др., выполненной в 1970 г., показало удовлетворительное их совпадение. В частности, на обоих картах хорошо проявляется положительная аномалия к северу от о.Ольхон, плавное снижение F к востоку от Академического хребта и более сложная структура у западного берега. При этом по нашим результатам амплитуда пространственных вариаций несколько больше. Кроме того, в материалах [5] не отмечена сильная положительная аномалия F в северной части района нашей съемки (у мыса Шарлтай на западном берегу). Однако эту аномалию с сопоставимой амплитудой можно найти на карте изодин в статье Г.М.Валяшко и др. [6].

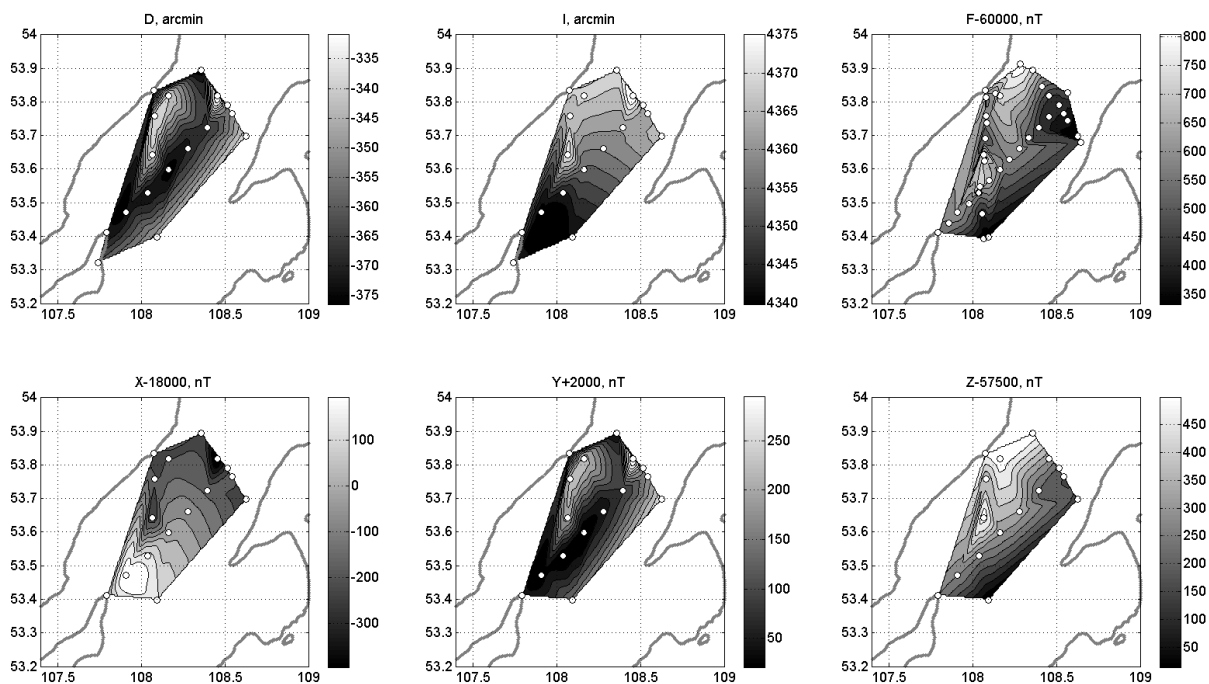


Рис.2. Пространственное распределение магнитного склонения D , наклонения I , северной X , восточной Y и вертикальной Z составляющих и модуля индукции F по результатам магнитной съемки на акватории оз.Байкал в марте 2009 г. Символом "o" отмечены пункты профилей, на которых выполнялись измерения. По осям – долгота и широта в градусах.

Еще одним источником тестирования полученных в настоящей работе результатов может быть сравнение с модельными расчетами. В настоящее время Национальным геофизическим центром данных США (NGDC) разработана модель NGDC-720, которая учитывает коровые источники и имеет пространственное разрешение до 56 км ($30'$) [7]. На рис.3 представлено пространственное распределение аномального поля X, Y, Z -составляющих, вычисленное по этой модели. Его сопоставление с результатами на рис.2 показывает, что X - и Y -компоненты по модели в рассматриваемом районе не отражают особенностей, которые обнаружены по данным непосредственных измерений. Однако, модельное распределение вертикальной составляющей Z , как и экспериментальные данные, показывает сильную отрицательную аномалию к юго-востоку от Академического хребта.

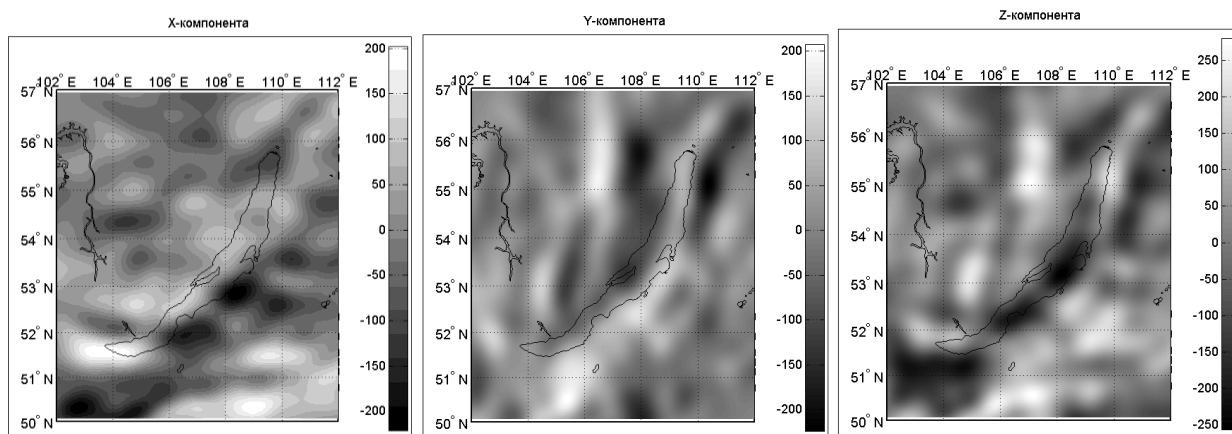


Рис.3. Распределение аномального поля источников в коре по модели NGDC-720 (сферические гармоники степеней 16-720).

Некоторые данные по измерениям магнитного поля в окрестности оз.Байкал имеются в МЦД по геомагнетизму (Эдинбург, <http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/surveydata.html>). В частности, в 1903 г. магнитное склонение было измерено на северной оконечности о.Ольхон и на о.Бол.Ушканий. В 40-х годах были выполнены измерения на берегу Баргузинского залива. На рис.4 представлена карта-схема района с пунктами этих измерений, а также показан вековой ход магнитного склонения в пунктах на о-вах Ольхон и Бол.Ушканий, вычисленный по модели IGRF11 и данные наблюдений в 1903 и 2009 гг.

Как видно из рис.4, отклонения экспериментальных данных от модели для двух эпох, разнесенных более чем на 100 лет, хорошо согласуются между собой.

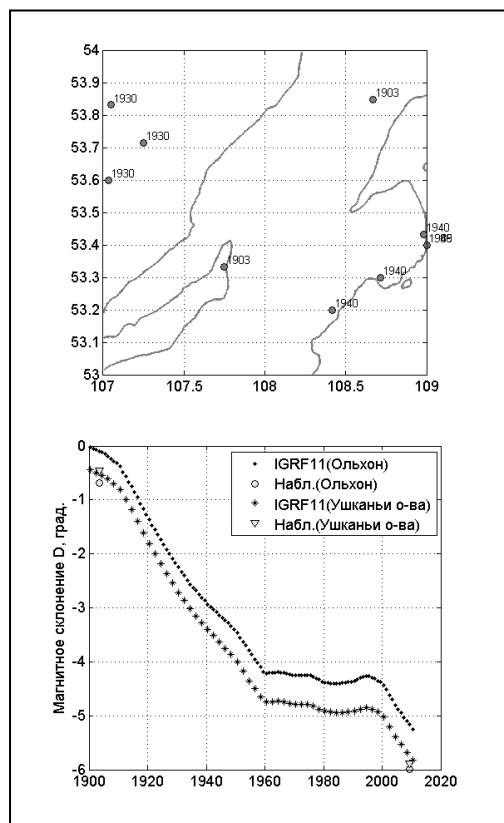


Рис.4. Исторические магнитные измерения вблизи центральной части оз.Байкал. Вверху - карта-схема оз.Байкал с пунктами магнитных измерений, цифрами указан год проведения измерений. Внизу – вековой ход магнитного склонения D по модели IGRF11 (непрерывная кривая) и данные наблюдений на о-вах Ольхон и Бол. Ушканий в 1903 и 2009 гг.

Необходимо также упомянуть про непрерывные измерения полного вектора магнитного поля, выполняемые на станции "Энхалук" (ИНГГ СО РАН, Новосибирск), расположенной на восточном берегу Байкала южнее о.Ольхон, данные которой будут рассмотрены в дальнейшем.

Выводы

Выполненная в 2009 г. на льду акватории центральной части оз.Байкал высокоточная магнитная съемка показала, что в условиях не очень низких температур полный вектор напряженности поля может быть получен с погрешностями на уровне первых угловых минут по склонению и наклонению и первых единиц нТл по силовым компонентам. Производительность съемки составляет до 1 часа на пункт профиля.

Полученные данные вдоль трех профилей общей протяженностью около 150 км позволили впервые сделать оценку пространственного распределения полного вектора

поля в районе между о-вами Ольхон и Бол. Ушканий. Подтверждена магнитная аномалия к северу от о.Ольхон и выделена аномалия вблизи восточного берега между мысами Шарлтай и Рытый. Результаты могут быть использованы для более строгих интерпретаций геологического и геофизического строения Байкальского рифта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Иркутской области (региональный проект 08-05-98073-р-сибирь-а). Авторы благодарят начальников метеостанций "Узур" и "о.Бол.Ушканий" за помощь в проведении работ на льду оз.Байкал.

Литература

1. Коростин П.В. Магнитное поле Прибайкалья и опыт его геологической интерпретации // Байкальский рифт. – М.: Наука, 1968. – С.131-140.
2. Анистратенко А.Г., Белугина П.В., Коростин П.В. и др. Магнитная съемка озера Байкал // Геомагн. и аэрономия. – 1973. – Т13, №2. – С.387-388.
3. Дядьков П.Г., Мандельбаум М.М., Татьков Г.И. и др. Особенности развития сейсмотектонического процесса и процессов подготовки землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой зоны по результатам тектономагнитных исследований // Геол. и геофизика. – 1999. – Т.40, №3. – С.346-359.
4. Рахматулин Р.А., Хомутов С.Ю., Харченко В.В. Результаты магнитной съемки на льду оз. Байкал: технологические и методические аспекты // Гео-Сибирь-2010. Сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса "Гео-Сибирь-2010", 19-23 апр.2010 г., Новосибирск. Т.2, ч.2. – Новосибирск: СГГА, 2010. – с. 28-32.
5. 12. Новоселова М.Р. Магнитная модель Байкальской впадины // Сейсмичность и глубинное строение Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1978. – С.88-94.
6. Валяшко Г.М., Мирлин Е.Г., Шрейдер А.А. и др. Аномальное магнитное поле акватории озера Байкал // Геолого-геофизические и подводные исследования озера Байкал. – М., 1979. – С.111-118.
7. Magnetic Field Research Models // <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/EMM/emm.shtml>