**Отчет**

**по исследованию аномалий геомагнитного поля**

**в Тункинской долине и западного побережья о.Байкал) в 2014**

**Аннотация**

В данном отчете представлены результаты исследований аномалий геомагнитного поля Байкальской рифтовой зоны.

Работы проводились на базе Института солнечно-земной физики СО РАН сотрудниками ИСЗФ СО РАН, АСФ ГС СО РАН, ИКИР ДВО РАН.

В 2014 году был проведен анализ архивных материалов по исследованию магнитного поля о.Байкала. Наиболее полным является исследование А.Вознесенского, который обобщил магнитные наблюдения начиная с XVIII в. Впервые проведена экспедиция по измерению трех компонент геомагнитного поля на западном побережье центральной части о.Байкал. Проведены повторные абсолютные измерения в районе обсерватории «Торы» Тункинской долины.

Подтверждено наличие сильной магнитной аномалии в районе обс. «Торы», обнаруженной в во время нашей экспедиции 2010г. Магнитное склонение на расстоянии менее 3 км изменяется на 2.50.

Впервые проведен анализ векового хода в Тункинской долине (р-он обс. Торы, 2010-2014 гг.). Изменения во всех трех компонентах магнитного поля и в Иркутске и в Торах идут в одном направлении: значения F и Z увеличиваются, H - уменьшаются, D - также уменьшается. При этом скорость изменения значений магнитного поля в Торах в среднем в 2 раза выше и эта скорость увеличивается.

Используя данные, полученные во время экспедиции 2014г., а также архивные данные выяснено, что граница магнитной аномалии центрального Байкала лежит около 52.60 с.ш. по оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва

Работы проводились в рамках выполнения проекта регионального конкурса РФФИ -СИБИРЬ (№ 14-45-04088 р\_сибирь\_а – «Исследование пространственно-временной структуры неоднородностей электромагнитного поля Байкальской рифтовой зоны».

**Введение**

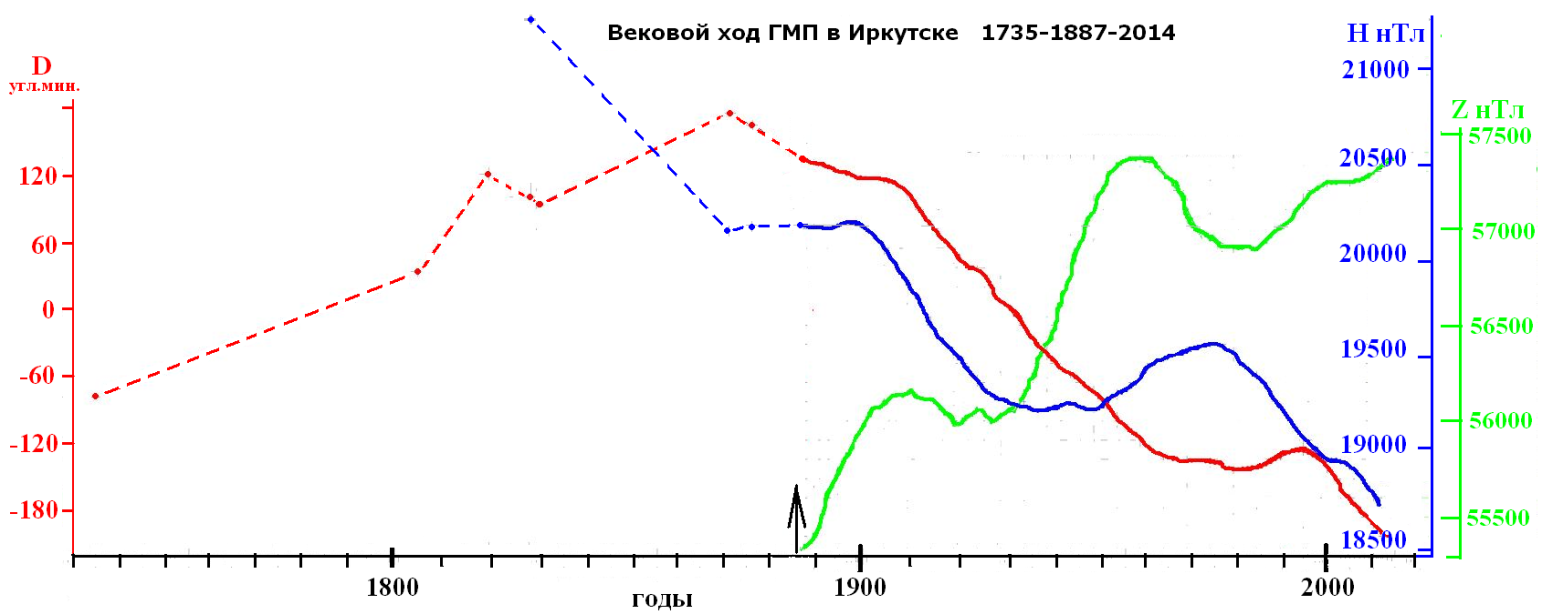
Байкальская рифтовая зона (БРЗ) находится на границе Ангарской плиты Алданского щита и Забайкальской плиты, которые, активно взаимодействуя между собой, способствуют формированию Байкальской впадины, а также прилегающих к Байкалу территорий. Байкальская рифтовая зона включает в себя котловину озера Байкал, Тункинскую долину до о.Хубсугул – на юге. В районе Байкальского рифта есть все признаки растяжения и сжатия: в котловине Байкала и в долине В. Ангары— растяжение; в Тункинской долине— сжатие.

Байкал имеет многие черты, присущие океану: абиссальные глубины, громадную массу воды, внутренние волны, приливы, сильные штормы, высокие волны, расширение котловины за счет раздвижки берегов, аналогичное расхождению континентов Африки и Южной Америки, большие величины магнитных аномалий и др.

Исходя из этого Байкал представлял большой интерес в плане изучения магнитных аномалий, но, к сожалению, до сих пор нет детального описания поведения геомагнитного поля в БРЗ. Исследования проводились эпизодически, без согласованного плана.

Директор магнитной обсерватории г.Иркутска А.В.Вознесенский обобщил магнитные наблюдения на о.Байкал , проведенные до 1905г в своей работе «Магнитные наблюдения на озере Байкал» (из книги «Лоция и физико-географический оерк озера Байкал» Изд.Гл.Гидр.Управление, С.-Петербург, 1908, 40 с.) Данные по магнитному склонению получены более чем 40 пунктах в Байкальском регионе. Все данные приведены к эпохе 1903 г.

В Иркутске магнитные измерения проводились эпизодически. Впервые измерение магнитных склонений в Иркутске произвел Делиль в 1735 г. В начале XIX в. наблюдение проводились Шубертом, Врангелем и др. В 1896—1902 гг.измерения выполнялись Ф. К. Дриженко. С 1887 г. начала работу магнитная обсерватория «Иркутск». Вековой ход по имеющимся в нашем распоряжении данным представлен на рис.1.



**Рис.1. Вековой ход геомагнитного поля в Иркутске 1735-1887-2014 гг.**

**Стрелочкой отмечено начало работы Магнитной обсерватории «Иркутск»**

В 1977 г. экспедиция Института океанологии им. П. П. Ширшова с судна «Г. Ю. Верещагин» провела первые магнитные съемки с корабля. Руководил экспедицией старший научный сотрудник, кандидат географических наук Е. Г. Мирлин.

В 70-е гг., в связи с дальнейшим освоением Байкала, назрела острая необходимость создания современных навигационных карт и лоции озера Байкал. Для этого потребовалось провести новые исследования на озере с применением высокоточных методов и средств гидрографии. Проводились также и магнитные наблюдения. Такие исследования и были выполнены на Байкале в 1979–86 гг. комплексным экспедиционным отрядом, выделенным из 1-ой Тихоокеанской океанографической экспедиции (ТОЭ), базировавшейся в г. Находке. В 2000 г. основные картографические материалы экспедиции были срочно затребованы из Владивостока и Находки в Санкт-Петербург в Центральное картографическое производство ВМФ. Наши усилия по получению материалов этих исследований не привели к желаемому результату.

Таким образом с 80-х годов прошлого столетия массовые магнитные измерения в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) для изучения магнитного поля практически не проводились.

Кроме того, данные по магнитному полю БРЗ – это только аномалии модуля индукции F, частично дополненные вариационными профильными измерениями компонент H и Z. Измерения полного вектора магнитного поля (компоненты D, I, Z, F) не выполнялись.

В связи с этим в 2009-2010 гг. в рамках выполнения проекта регионального конкурса РФФИ -СИБИРЬ ( № 08-05-98073 р\_сибирь\_а - «Исследование электромагнитных и теллурических аномалий Байкальской рифтовой зоны») проводились абсолютные измерения компонент магнитного поля (F, D, I, H, Z) в центральной в Байкальской рифтовой зоне.

Результаты, полученные во время экспедиционных работ в 2009-2013:•

* Значительное различие векового хода по магнитному склонению D на обс.Узуры (о.Ольхон) и на обс.Патроны в период времени с 2009 по 2012 гг.
* Впервые обнаружена значительная магнитная аномалия в районе обс. Торы. Пространственное изменение магнитного поля поперек Тункинской долины (расстояние 6 км в направлении север-юг) составляет: для H-компоненты – понижение от южного края к северному примерно на 400 нТл; для D-компоненты – увеличение D на 3° с южного края к северному. •
* Выдающейся особенностью распределения F по измерениям вдоль специальных профилей на о.Ольхон является наличие двух сильных аномалий поля амплитудой более 200 нТл. Линейная протяженность обоих аномалий – около 0.5 км. •
* Наблюдаются аномалии в амплитудном режиме при синхронном наблюдении иррегулярных пульсаций Pi2 в районе БРЗ по отношению к материковым данным. Амплитуда этих колебаний одинакова на станциях Тункинской долины (около 50 пТл) и максимальна на ольхонской станции Узур (около 150 пТл), которая расположена в непосредственно в районе БРЗ.

Следует отметить, что в проведенных работах не ставилась цель интерпретации или геофизического анализа результатов измерений. Данные районы являются чрезвычайно сложными геологическими и геофизическими структурами. При этом высокоточные компонентные магнитные измерения в этих районах практически не проводились.

Основной целью работы 2014 г. в Байкальской рифтовой зоне является получение максимально точных и достоверных данных с использованием аппаратуры мирового уровня, современных методик наблюдения и обработки данных.

**Экспедиционные измерения в октябре-ноябре 2014.**

**в Тункинской долине (Торы) и западного побережья о.Байкал (Сарма, Танжераны) в октябре-ноябре 2014**

В октябре-ноябре. в рамках проекта РФФИ проводились измерения абсолютных компонент магнитного поля (F, D, I, H, Z) в Тункинской долине (поперечный профиль в районе обс. Торы) и западного побережья центральной части о. Байкал ( в районе п.Сарма, Танжераны,МРС). Измерения проводились в конце октября-начале ноября 2014. В Тункинской долине было проведено 10 абсолютных наблюдений в трех точках , на западном побережье о.Байкал 10 наблюдений в 4 точках

Проведенные экспериментальные наблюдения выявили наличие магнитных аномалий и сложную структуру их распределения.

**Используемая аппаратура и методика измерений**

В эксперименте использовалась следующая аппаратура, применяемая при магнитных измерениях

1. **Оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1 -**  это высокоточный прибор, основанный на эффекте Оверхаузера (рис.2). Предназначен для измерения модуля геомагнитного поля. Магнитометр может использоваться как для проведения пешеходных съемок, так и в качестве стационарной вариационной станции.

Во время экспедиции использовались магнитометр POS-1 (разработка Лаборатории квантовой магнитометрии УГТУ-УПИ, г.Екатеринбург):



**Рис.2. POS-1 в обсерваторском варианте**

POS-1 (№335) в обсерваторском варианте исполнения, включает в себя датчик и электронный блок, соединенные кабелем длиной около 3 м, кабель связи с компьютером длиной 10 м, регистрирующий ноутбук IRU и систему автономного питания.

2. **DI-магнитометр Theo-015B Mag01H** является геофизическим прибором, который предназначен для измерения склонения D и наклонения I вектора индукции магнитного поля Земли (рис.3). Основная область применения DI-магнитометра – научные и прикладные исследования на магнитных обсерваториях. В состав аппаратуры входят: 1) немагнитный теодолит сер.№ 2028 с феррозондовым датчиком №488 2) электронный блок № 0867 Н



**Рис.2. . DI-магнитометр Theo-015B Mag01H в стандартной комплектации**

**Основные технические характеристики:**

1. чувствительность феррозондового датчика в режиме

измерения "нулевого сигнала" 1 нТл

1. СКО измерения углов немагнитным теодолитом 5″
2. шкала деления микрометра 1″

Методика измерений DI-магнитометром стандартная, рекомендованная Интермагнетом и дополненная в части астрономических измерений, включающая следующие процедуры:

* измерение с помощью магнитометра POS горизонтального и вертикального градиента модуля полного вектора поля F,
* установка штатива (не ближе 50 м от автомобилей), установка теодолита, нивелировка, снятие координат над штативом с помощью GPS
* выбор Миры (удаленной метки) – либо объекты на склонах сопок, либо деталь на удаленном автомобиле, либо специальная закрепленная вешка
* подключение ЭБ, проведение двух серий DI-измерений (рис.4):
  + 2 отсчета по ГК (горизонтальному кругу) на Миру
  + 4 отсчета по ГК для склонения
  + 2 отсчета по ГК (горизонтальному кругу) на Миру
  + вычисление положения магнитного меридиана на ГК
  + 4 отсчета по ВК (вертикальному кругу) для наклонения
* теодолит со штативом аккуратно убирается, на его месте измеряется модуль F (с помощью POS-1)
* демонтаж, погрузка в автомобиль



**Рис.4. Проведение абсолютных наблюдений**

**Калибровка, сверка и тестирование аппаратуры**

Применяемая при магнитных наблюдениях аппаратура прошла сверку на XVI Совещании IAGA (г.Хайдерабад, Индия) по инструментам, системам сбора и обработки на магнитных обсерваториях в октябре 2014г.

Совещание является фактически единственной специализированной площадкой международного уровня, где возможно провести калибровку и сверку магнитометрической аппаратуры и встретиться с ведущими магнитологами, которые разрабатывают стандарты и определяют пути развития мировой сети Intermagnet.

Во время измерительно-инструментальной сессии были произведены калибровочные и сверочные измерения с использованием деклинометров/инклинометров, протонных магнитометров.

Проведена калибровка следующих приборов Магнитной обсерватории «Иркутск»:

- Деклинометр/инклинометр на базе теодолита Zeiss Theo-010B с феррозондом Mag-01H разработки фирмы Bartington

- Цифровой протонный магнитометра POS-1 на эффекте Оверхаузера (разработка УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург).

Сверка приборов проводилась сотрудником Магнитной обсерватории ИСЗФ СО РАН «Иркутск»Липко Ю.В. (рис.5) и руководителем Магнитной обсерватории ИКИР ДВО РАН С.Ю. Хомутовым.

По результатам проведенных наблюдений приборы признаны соответствующими требованиям INTERMAGNET и получен Сертификат (см. Приложение 1



**Рис.5. . Проведение абсолютных наблюдений для сверки деклинометра/инклинометра**

**Ю.В. Липко на XVI совещании IAGA г.Хайдерабад (Индия)**

**Определение азимута Миры**

Для определения магнитного склонения необходимо было знать астрономический азимут Миры (удаленной метки). В то же время, наклонение получалось сразу в абсолютном смысле.

Для определения азимута Миры использовался геодезический метод – азимут вычислялся по геодезическим координатам пункта, где выполняются магнитные измерения, и координатам Миры. Геодезические координаты определялись с помощью GPS-навигатора Garmin GPSmap62s.. Азимут вычислялся для эллипсоида в системе WGS84. В качестве Миры в этом случае использовался удаленный объект (дерево, камень, дорожный знак).

Проведенное исследование показало, что при расстоянии до Миры более 1 км, точность определения азимута не хуже 0.5-1.0’.

При вычислении H и Z по измеренным I и F делалось предположение, что эти величины относятся к одному моменту времени. Поскольку поле было относительно спокойным, погрешности таких экстраполяций не ожидаются существенными.

В целом погрешности измерений оцениваются в 0.5 нТл, 1 угл.мин. и 0.2 угл.мин. по F,D,I, соответственно.

На рис.6 представлены моменты проведения абсолютных наблюдений.



**Рис.6. Проведение DI-наблюденийЮ.В. Липко (слева) и**

**измерение F над штативом М.И. Смехновой (справа).**

**Координатно-временное обеспечение**

Координаты определялось с помощью GPS-навигатора Garmin GPSmap62s. Координаты навигатор определял внутренней погрешностью 3 м. Система координат – WGS84.

Время фиксировалось по электронным наручным часам по локальному времени LT=UT+8 час.,

Время при измерениях отсчитывалось по наручным электронным часам и GPS-навигатору

**Вспомогательное оборудование**

Для перемещения использовался два автомобиль «Соболь». Фотография представлена на рис.7.

В экспедиции использовался ноутбука IRU для непрерывной регистрации полного вектора магнитного поля во время проведения абсолютных наблюдений и предварительных расчетов.

Для обеспечения автономного питания использовались аккумуляторы 12В. Во время экспедиции велась фотосъемка.



**Рис.7. Автомобиль «Соболь» и водитель В.К. Юров.**

**Условия во время экспедиции, выбор точек наблюдений**

***Геомагнитная активность и вариации магнитного поля Земли в период эксперимента.***

Геомагнитная обстановка во время магнитной съемки является весьма существенным фактором, определяющим корректную интерпретацию полученных результатов.

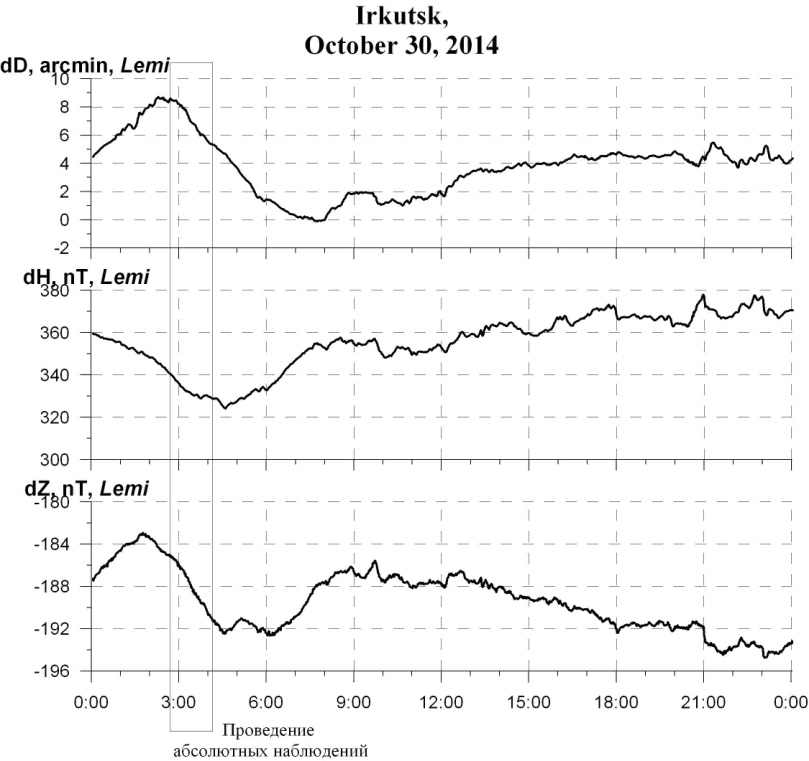
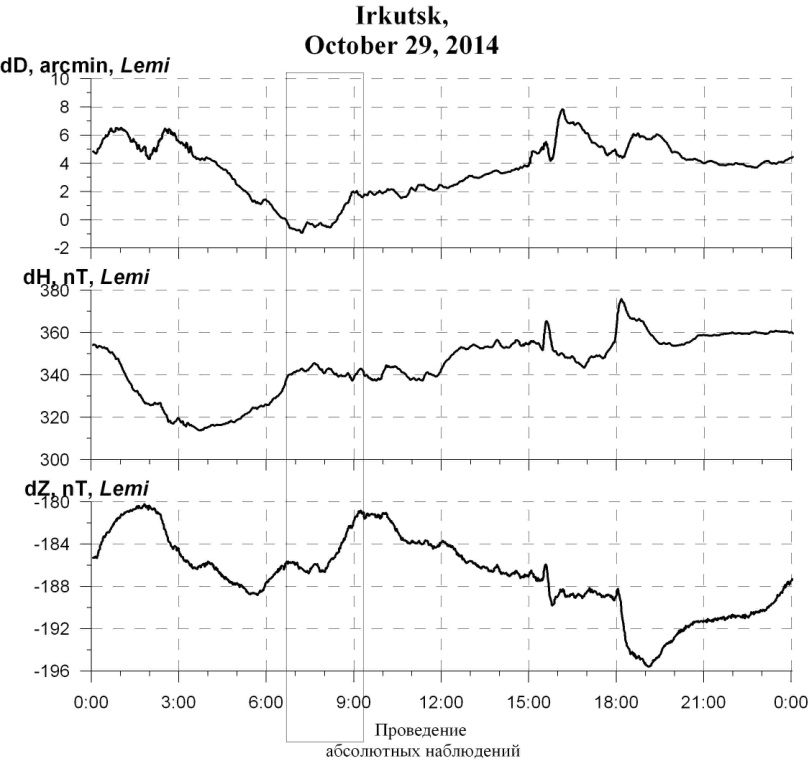
В табл. 1 представлен трехчасовой К индекс, полученный по данным обс.Иркутск (Патроны) за дни проведения наблюдений, а также для полноты картины – за день до и день после наблюдений. Интервалы, в которые проводились наблюдения, выделены серым цветом. В целом магнитную обстановку можно характеризовать как слабовозмущенную.

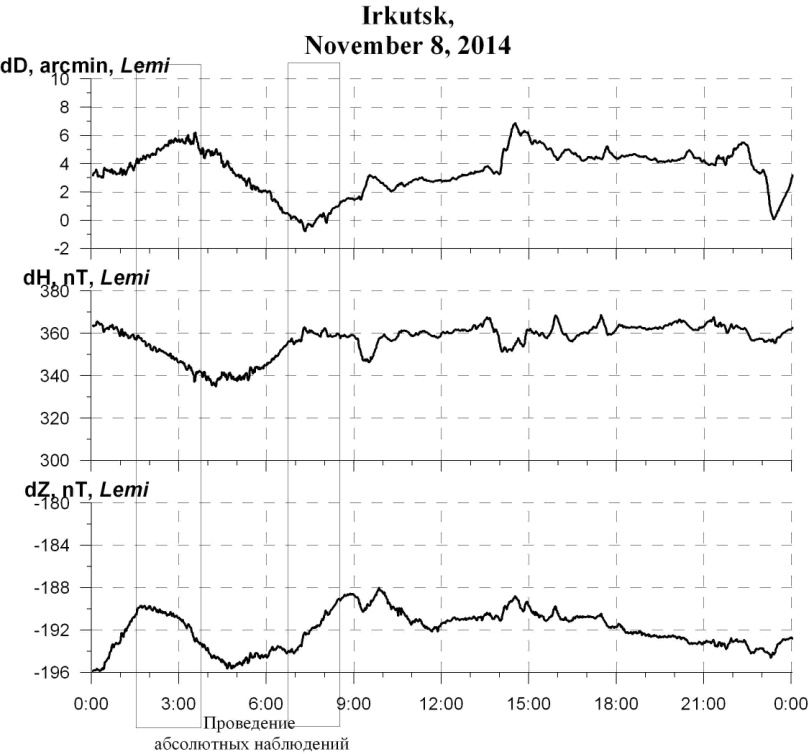
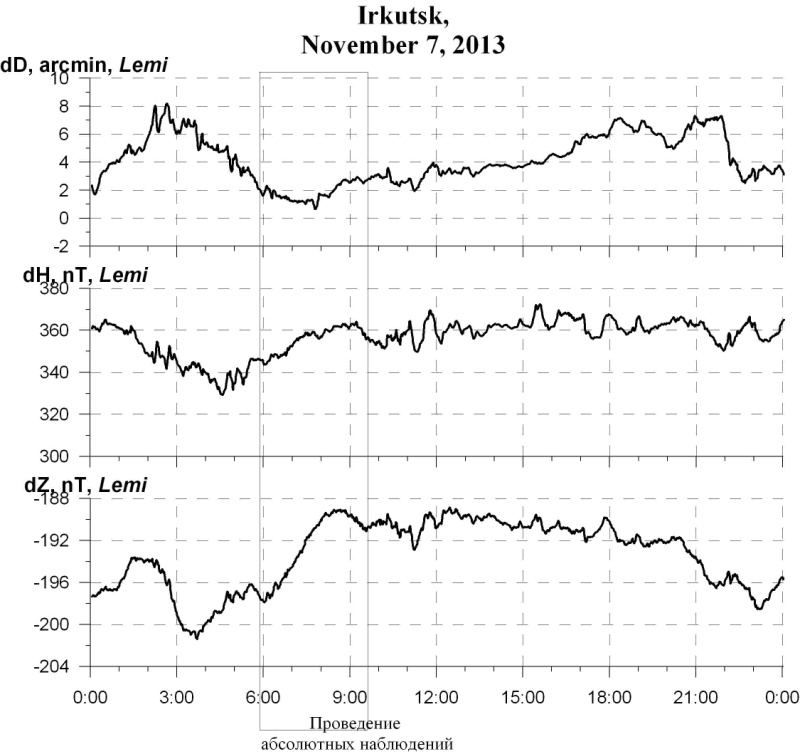
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Дата  2014 | Период времени (UT) | | | | | | | |
| 0-3 | 3-6 | 6-9 | 9-12 | 12-15 | 15-18 | 18-21 | 21-24 |
| 28 окт | **3** | **2** | **2** | **2** | **3** | **3** | **3** | **2** |
| 29 окт | **3** | **2** | **2** | **2** | **2** | **3** | **3** | **2** |
| 30 окт | **3** | **3** | **1** | **2** | **2** | **2** | **2** | **3** |
| 31 окт | **3** | **3** | **1** | **2** | **2** | **1** | **3** | **3** |
| 6 ноябр | **3** | **3** | **2** | **2** | **2** | **2** | **2** | **3** |
| 7 ноябр | **4** | **3** | **1** | **3** | **2** | **2** | **2** | **3** |
| 8 ноябр | **3** | **3** | **2** | **2** | **3** | **2** | **1** | **3** |
| 9 ноябр | **3** | **2** | **2** | **1** | **1** | **3** | **3** | **3** |

**Табл.1. Трехчасовой индекс геомагнитной активности К по обс «Иркутск»**

**(п.Патроны) за 28-31 октября и 6-9 ноября 2014 г.**

На рис.8 представлены вариации D-, H- и Z-составляющих поля на обсерватории "Иркутск" (Патроны) (1-минутные данные). Периоды наблюдений выделены прямоугольными рамками.

****

****

**Рис.8 Вариации D,H,Z-составляющих поля Иркутске (время UT)**

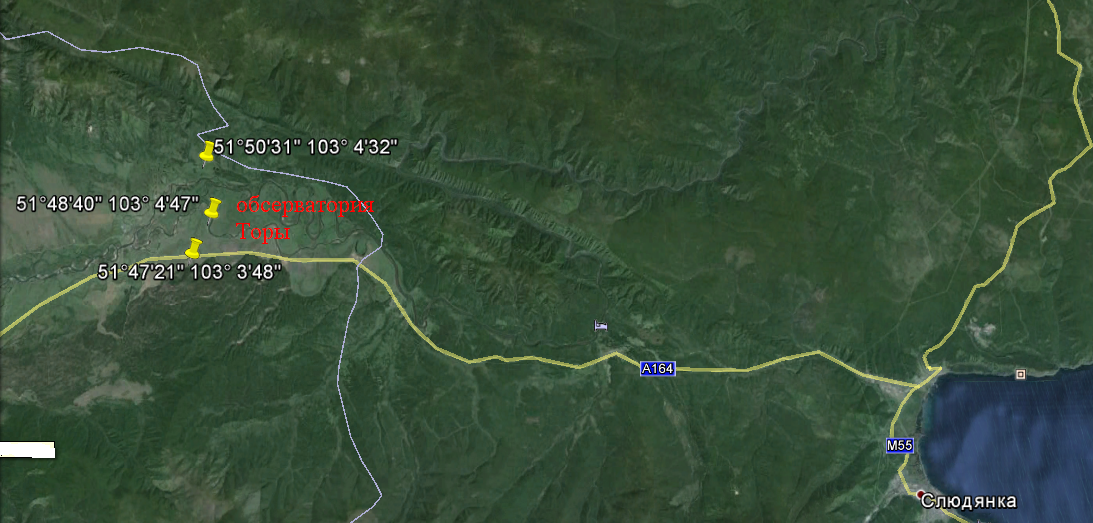
**Метеорологические условия**

Благодаря теплой осени удалось провести наблюдения в конце октября – начале ноября. Погода стояла солнечная. Ветер слабый. Температура в течение дня менялась от **-**50С до +5-+100С.

**Выбор профилей для магнитной съемки, их характеристика**

Предварительный маршрут для проведения профильных измерений был определен исходя из результатов наблюдений 2009-2014 гг. Учитывалось также, что для острый дефицит времени.

Наиболее интересным и доступным местом для предварительных наблюдений в Тункинской долине было выбран район обсерватории Торы. По наблюдениям 2010 года было получено, что магнитное склонение в направлении север-юг на расстоянии около 6 км составляет 30, что является сильной аномалией. Эта аномалия отсутствует на картах магнитного склонения и не подтверждена из других источников. Необходимо было провести повторные наблюдения. Карта Тункинской долины с нанесенными проведения абсолютных наблюдений пунктами представлена на рис. 9.



**Рис.9. Карта с нанесенными пунктами проведения абсолютных наблюдений в**

**Тункинской долине в 2014 году.**

Выбор пунктов наблюдений на западном берегу Байкала объясняется следующими обстоятельствами. Во время экспедиций в 2009-2010 гг., а также эпизодических наблюдений в 2011-2013 гг., достаточно подробно (расстояние между пунктами порядка 5-10 км) была проведена магнитная съемка центральной акватории о.Байкал (наблюдения на льду) и о.Ольхон (за исключением недоступных на автотранспорте мест). Выяснилась значительное отличие в значениях компонент магнитного поля со значениями, получаемыми на опорной магнитной станции "Иркутск". Так магнитное склонение D по данным станции "Иркутск" составляет чуть более -30, а по результатам экспедиций от -5.50 до -70. Магнитная обсерватория расположена на Ангарской плите Алданского щита, в то время о.Байкал и остров Ольхон входит в состав Байкальской рифтовой зоны. Была сделана попытка на основе магнитных наблюдений определить район перехода от магнитной аномалии рифтовой зоны к области основного, "регулярного" магнитного поля. Карта центральной части западного побережья о.Байкал с нанесенными проведения абсолютных наблюдений пунктами представлена на рис. 10.

****

**Рис.10 Карта с нанесенными пунктами проведения абсолютных наблюдений на западном берегу о.Байкал в 2014 году.**

**Результаты измерений**

Сводная таблица измерений полного вектора напряженности поля (компоненты D,I,F) представлена в табл.2 для Тункинской долины и в табл.3. для западного побережья о.Байкал.

**Абсолютные наблюдения 2014**

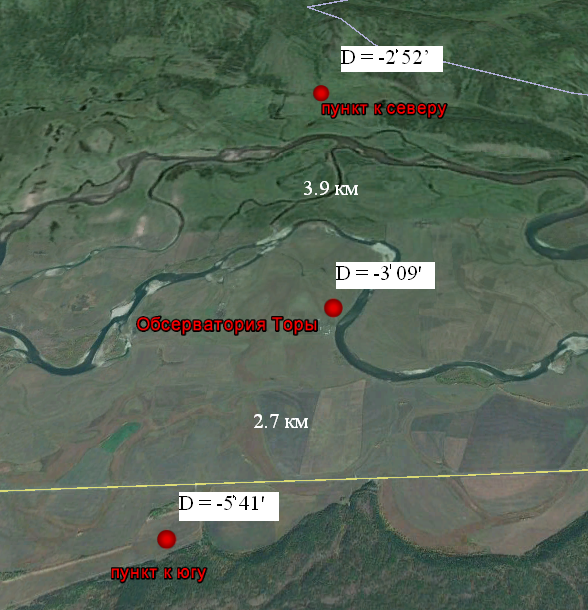
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Название**  **места** | | **Координаты** | | **Расст. до Миры км** | **Дата** | **Время,**  **UT** | **Измеренные величины** | | | **Расчетные** | |
| **Широта** | **Долгота** | **D, 0 ‘ “** | **I, 0 ‘ “** | **F, nT** | **H, nT** | **Z, nT** |
| 1 | К югу от обс. Торы | | 51 47 21.1 | 103 03 48 | 1.418 | 29.10.14 | 6:44 |  |  | 60391 |  |  |
| 7:06-7:14 | -5 41 23 |  |  |  |  |
| 7:24-7:32 |  | 71 59 11 |  | 18684.9 | 5429.3 |
| 7:39-7:44 | -5 41 09 |  |  |  |  |
| 7:51:7:59 |  | 71 59 18 |  | 18682.8 | 57430 |
| 8:13-8:19 | -5 41 38 |  |  |  |  |
| 8:25-8:32 |  | 71 59 31 |  | 18680.2 | 57434 |
| 8:37-8:42 | -5 39 18 |  |  |  |  |
| 8:49-8:54 |  | 71 59 39 |  | 18678.1 | 57434.7 |
| 9:02 |  |  | 60397 |  |  |
| 2 | Обс. Торы | | 51 48 40.1 | 103 04 48 | 1.825 | 30.10.14 | 3:00 |  |  | 60224 |  |  |
| 3:11-3:19 | -3 09 31 |  |  |  |  |
| 3:27-3:35 |  | 71 51 53 |  | 18753.3 | 57226 |
| 3:39-3:45 | -3 10 33 |  |  |  |  |
| 3:51-3:58 |  | 71 51 09 |  | 18765.4 | 57222 |
| 4:02 |  |  | 60217 |  |  |
| 3 | | К северу от обс. Торы | 51 50 45.8 | 103 04 32.1 | 0.605 | 30.10.14 | 5:59 |  |  | 60365.5 |  |  |
| 6:09-6:14 | -2 52 04 |  |  |  |  |
| 6:24-6:30 |  | 71 31 11 |  | 19145 | 57254.6 |
| 6:38-6:41 | -2 55 10 |  |  |  |  |
| 6:48-6:54 |  | 71 31 04 |  | 19146.9 | 57254 |
| 7:05-7:09 | -2 50 28 |  |  |  |  |
| 7:18-7:23 |  | 71 30 42 |  | 19156.5 | 57262.6 |
| 7:29-7:34 | -2 50 08 |  |  |  |  |
| 7:42-7:47 |  | 71 30 36 |  | 19158.3 | 57262 |
| 7:51 |  |  | 60387 |  |  |

**Табл. 2. Результаты абсолютных наблюдений компонент геомагнитного поля**

**в районе обсерватории "Торы"**

Наблюдения в на обс. Торы (пункт 2)и южной части Тункинской долины (пункт1) проводились в тех по координатам 2010 г. Пункт 3 в северной части долины смещен на север на 100 м относительно пункта наблюдения 2010 г. Перед проведением наблюдений с помощью протонного магнитометра POS были определены вертикальные и горизонтальные градиенты полного вектора магнитного поля F. Значения составили: вертикальный градиент на высоте установки приборы - менее 0.6 нТл/м, горизонтальный на высоте 1 м от поверхности земли – менее 5 нТл/м Это вполне удовлетворительно и указывает на отсутствие металлических предметов, способных исказить геомагнитное поле.

Расстояние между точками 1 и 2 составляет 2.7 км, между точками 1 и 3 - 3.9 км. Точки лежат практически в меридиональном направлении. В п. 2 и п.3 магнитное склонение в целом соответствует данным МО "Иркутск". В то же время, результатам наблюдений (см. Табл. 1.2) магнитное склонение уменьшается на 2.50 на расстоянии менее чем 3 км от южного края Тункинской долины (п.1) к центру (п.2) (рис.11). Такая значительная аномалия несомненно связана с геологическими структурами южной части Тункинской долины.



**Рис.11 Карта магнитной аномалии Тункинской долины в районе обсерватории Торы.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Название**  **места** | **Координаты** | | **Расст. до Миры км** | **Дата** | **Время,**  **UT** | **Измеренные величины** | | | **Расчетные** | |
| **Широта** | **Долгота** | **D, 0 ‘ “** | **I, 0 ‘ “** | **F, nT** | **H, nT** | **Z, nT** |
| 4 | Петрово | 52 45 01 | 106 19 02.7 | 2.439 | 07.11.14 | 5:57 |  |  | 60476 |  |  |
| 6:15-6:20 | -5 18 07 |  |  |  |  |
| 6:27-6:33 |  | 72 15 26 |  | 18439.2 | 57598.4 |
| 6:38-6:44 | -5 14 25 |  |  |  |  |
| 6:53-6:57 |  | 72 16 16 |  | 18425.2 | 57602.9 |
| 7:05-7:11 | -5 16 10 |  |  |  |  |
| 7:16-7:22 |  | 72 14 59 |  |  |  |
| 7:25 |  |  | 60482 |  |  |
| 5 | Тажераны | 52 51 50.1 | 106 36 50.9 | 1.642 | 07.11.14 | 8:43 |  |  | 60980 |  |  |
| 8:47-8:53 | -4 52 39 |  |  | 18670.4 | 58049.3 |
| 9:07-9:15 |  | 72 10 46 |  |  |  |
| 9:21-9:26 | -4 52 42 |  |  |  |  |
| 9:34-9:40 |  | 72 10 45 |  | 18670.7 | 58049.2 |
| 9:45 |  |  | 60976 |  |  |
| **Широта** | **Долгота** |  | **D, 0 ‘ “** | **I, 0 ‘ “** | **F, nT** | **H, nT** | **Z, nT** |
| 6 | Сарма | 53 07 36.9 | 106 49 55.6 | 3.450 | 08.11.14 | 2:20 |  |  | 60694.5 |  |  |
| 2:26-2:31 | -5 02 11 |  |  |  |  |
| 2:39-2:44 |  | 72 51 56 |  | 17890 | 57995.9 |
| 2:47-2:52 | -5 03 08 |  |  |  |  |
| 2:59-3:05 |  | 72 51 53 |  | 17890.9 | 57995.6 |
| 3:10-3:15 | -5 02 47 |  |  |  |  |
| 3:21-3:28 |  | 72 52 01 |  | 17888 | 57994.4 |
| 3:31 |  |  | 60690.5 |  |  |
| 7 | Сахюрта | 53 00 57.6 | 106 51 49 | 1.574 | 08.11.14 | 6:52 |  |  | 61051 |  |  |
| 7:11-7:14 | -5 05 14 |  |  |  |  |
| 7:22-7:27 |  | 72 44 52 |  | 18115.8 | 58302.8 |
| 7:32-7:36 | -4 56 33 |  |  |  |  |
| 7:42-7:47 |  | 72 44 47 |  | 18117.4 | 58302.3 |
| 7:53-7:58 | -5 03 58 |  |  |  |  |
| 8:04-8:10 |  | 72 44 56 |  | 18115.3 | 58305.1 |
| 8:17 |  |  | 61055 |  |  |

**Табл. 3. Результаты абсолютных наблюдений компонент геомагнитного поля**

**западном побережье о.Байкал**

Наблюдения на западном берегу о.Байкала проводились в 4 пунктах центральной части о.Байкал. В целом значения компонент геомагнитного поля по результатам наблюдений соответствуют значениям, получаемым в рифтовой зоне на острове Ольхон и центральной части о.Байкал. Магнитное склонение D - около -50, на 20 отличается от склонения на МО "Иркутск". Значения горизонтальной составляющая H - показывает значительный разброс по точкам наблюдений в несколько сот нТл, но все же Н значительно меньше чем в Иркутске. Значения Z компоненты значительно (на 500-600 нТл) выше, чем в Иркутске и близки значениям Z в рифтовой зоне.

Таким образом, что согласно результатам проведенных наблюдений значения компонент геомагнитного поля больше соответствуют значениям в рифтовой зоне на острове Ольхон и центральной части о.Байкал, чем значениям на обс."Иркутск", расположенной на Алданском щите.

Проведенные измерения показали, что практически во всех компонентах магнитного поля, наблюдаемых, как в районе обсерватории Торы, так и на западном берегу о.Байкала, имеются аномальные отклонения относительно значений, получаемых на опорной станции "Иркутск".

**Долговременные изменения геомагнитного поля (вековой ход)**

Один из важных вопросов - выяснение характера поведения компонент магнитного поля Земли в различных точках на протяжении нескольких последовательных лет. Эти изменения связан с процессами протекающими в слоях, лежащих ниже земной коры, и протекают в различных районах с различными геологическими структурами по разному.

В нашем распоряжении есть Векковой ход по данным Магнитной обсерватории "Иркутск" с конца 19 века и данные наблюдений за пять лет (2010- 2014гг.) в одном и том же пункте на обсерватории Торы в Тункинской долине 51048'40.1" с.ш. 103004'48" в.д.

В таблице 4 приведены среднегодовые значения компонент поля обс. "Иркутск", таблице 5 - результаты измерения компонент магнитного поля Земли в течение пяти последовательных лет в Торах.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Год наблюдения | Среднегодовые значенияполного вектора F  нТл | Среднегодовые значения склонения D  угл. градус. | Среднегодовые значения  Н-компоненты  нТл | Среднегодовые значения  Z –компоненты  нТл |
| 2009 | 60295 | -3,11 | 18857 | 57270 |
| 2010 | 60301 | -3,19 | 18812 | 57292 |
| 2011 | 60307 | -3,2617 | 18764 | 57313 |
| 2012 | 60317 | -3,3217 | 18712 | 57342 |
| 2013 | 60325 | -3,3783 | 18663 | 57366 |

**Табл.4. Значения компонент поля обс. "Иркутск**

В таблице 4 приведены среднегодовые значения компонент поля обс. "Иркутск", таблице 5 - результаты измерения компонент магнитного поля Земли в течение пяти последовательных лет в Торах.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Год наблюдения | Измерение  полного вектора F  нТл | Измерение склонения D  угл. градус. | Измерение  Н-компоненты  нТл | Измерение  Z –компоненты  нТл |
| 2010 | 60174 | -2,9972 | 18998 | 57097 |
| 2011 | 60189 | -3,0138 | 18968 | 57121 |
| 2012 | 60176 | -2,8843 | 18876 | 57138 |
| 2013 | 60199 | -2,9640 | 18854 | 57169 |
| 2014 | 60220 | -3,1588 | 18753 | 57226 |

**Табл.5. Значения компонент поля по наблюдениям в Торах**

В таблице 6 приведены изменения среднегодовых значений компонент поля обс. "Иркутск", таблице 7 - изменения компонент магнитного поля Земли в течение пяти последовательных лет в Торах.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Год наблюдения | Разность значений  полного вектора F  нТл | Разность значений склонения D  угл. мин. | Разность значений Н-компоненты  нТл | Разность значений Z –компоненты  нТл |
| 2010-2011 | -6 | 4.3 | 48 | -21 |
| 2011-2012 | -10 | 3.6 | 52 | -29 |
| 2012-2013 | -8 | 3.4 | 49 | -24 |
| 2013-2014 | -8 | 4 | 49 | -24 |

**Табл.6. Изменения значений компонент поля обс. "Иркутск**

Изменения 2013-2014 (выделены серым) являются предварительными, т.к. окончательные значения среднегодовых значений за 2014 г. возможны только после окончательной корректировки данных и расчета базисных уровней.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Год наблюдения | Разность значений  полного вектора F  нТл | Разность значений склонения D  угл. мин. | Разность значений Н-компоненты  нТл | Разность значений Z –компоненты  нТл |
| 2010-2011 | -15 | 1 | 30 | -24 |
| 2011-2012 | 13 | -7.8 | 92 | -17 |
| 2012-2013 | -23 | 4. 8 | 22 | -31 |
| 2013-2014 | -21 | 11.7 | 101 | -57 |

**Табл.7. Изменение значений компонент поля по наблюдениям в Торах**

Анализ проведенных экспериментальных измерений показывает следующую тенденцию. Изменения во всех трех компонентах магнитного поля и в Иркутске и в Торах идут в одну сторону: значения F и Z увеличиваются, H - уменьшаются, D - также уменьшается. При этом скорость изменения значений магнитного поля в Торах в среднем в 2 раза выше и эта скорость увеличивается.

Возможно, это связано с тем, что Тункинская долина в целом, и район Тор, в частности является частью Байкальской рифтовой зоны. Тункинская долина испытывает сжатие и является сйсмоактивной зоной. В то же время Обсерватория "Иркутск" находится на материковой платформе.

Наблюдения 2011 г. несколько выпадают из вышеуказанной тенденции. Возможно, что это связано с тем, что для Иркутска мы берем данные скорректированные относительно вариаций, с выверенными базисными и усредненные за год. В обсерватории Торы нет магнитовариационных станций и абсолютные наблюдения проводятся 1-2 раза в год, поэтому вариации магнитного поля, либо другие неучтенные факторы могут повлиять на результат.

Конечно 5 лет измерений – малый промежуток времени, чтобы делать определенные выводы. Необходимо дальнейшее накопление рядов наблюдений элементов магнитного поля Земли в этой точке.

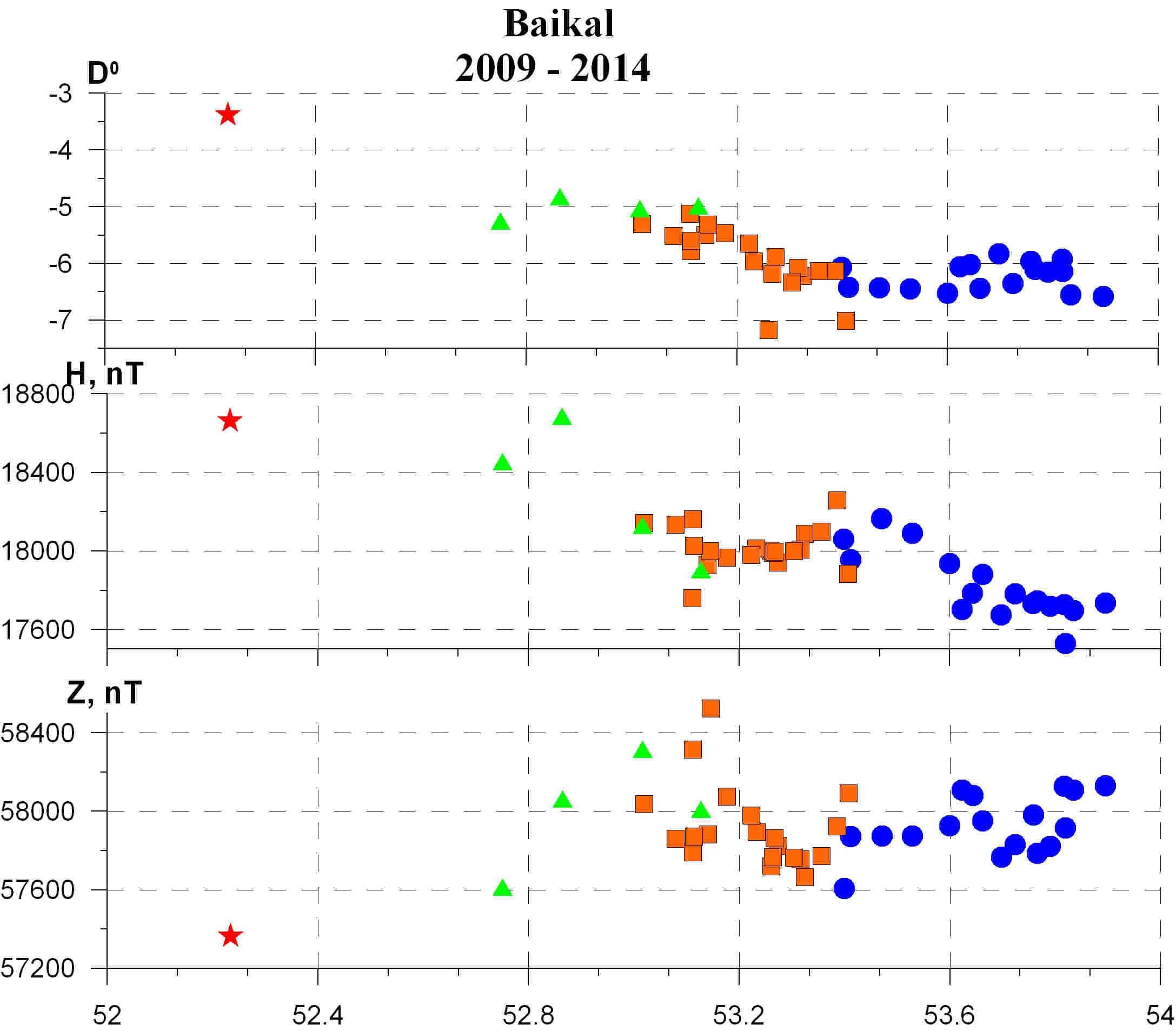
**Исследование профилей компонент геомагнитного поля по оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва**

В результате проведенных геомагнитных наблюдений выяснилось, что существует крупномасштабная магнитная аномалия в центральной части о.Байкал, включая западное побережье и остров Ольхон. Для определения границ этой аномалии был построен профиль компонент геомагнитного поля (рис.11). Основной массив наблюдений был получен на оси, включающей в себя Иркутск-Ольхон-Ушканьи острова, т.е. практически вдоль меридиана. Поэтом значения компонент поля D, H, Z приводятся в зависимости от широты. Результаты полученные на обсерватории «Иркутск» обозначены красной звездочкой , результаты экспедиции 2009 г. – синими кружочками, результаты экспедиции 2010 г. – коричневыми квадратиками и результаты экспедиции 2014 г. – зелеными треугольниками.

Все результаты приведены к эпохе 2013 г., согласно таблицам 6, 7. Использовались следующие поправки: dD(2009-2013)=16.1’, dH(2009-2013)=194 нТл, dZ(2009-2013)=-96 нТл, dF(2009-2013)=-30 нТл, dD(2010-2013)=11.3’, dH(2010-2013)=149 нТл, dZ(2010-2013)=-74 нТл, dF(2010-2013)=-24 нТл. Конечно, поправки для Иркутска, могут не совпадать для района центрального Байкала, но в целом, тенденция изменения поля должна сохраняться.

Из графиков видно:

1. Склонение D плавно изменяется от -6.50 до -50 от Ушканьих островов до пунктов наблюдений на западном берегу Байкала. Затем идет протяженный пробел в наблюдениях и в Иркутске склонение уже около -30.
2. Горизонтальная компонента H также плавно изменяется от Ушканьих островов , но на 530 с.ш. происходит резкое увеличение значений Н до уровня Иркутск.
3. Для Z тенденции изменения не столь явно выражены, но все же отличие в значениях Иркутск и центрального Байкала значительны (около 300 нЕл).

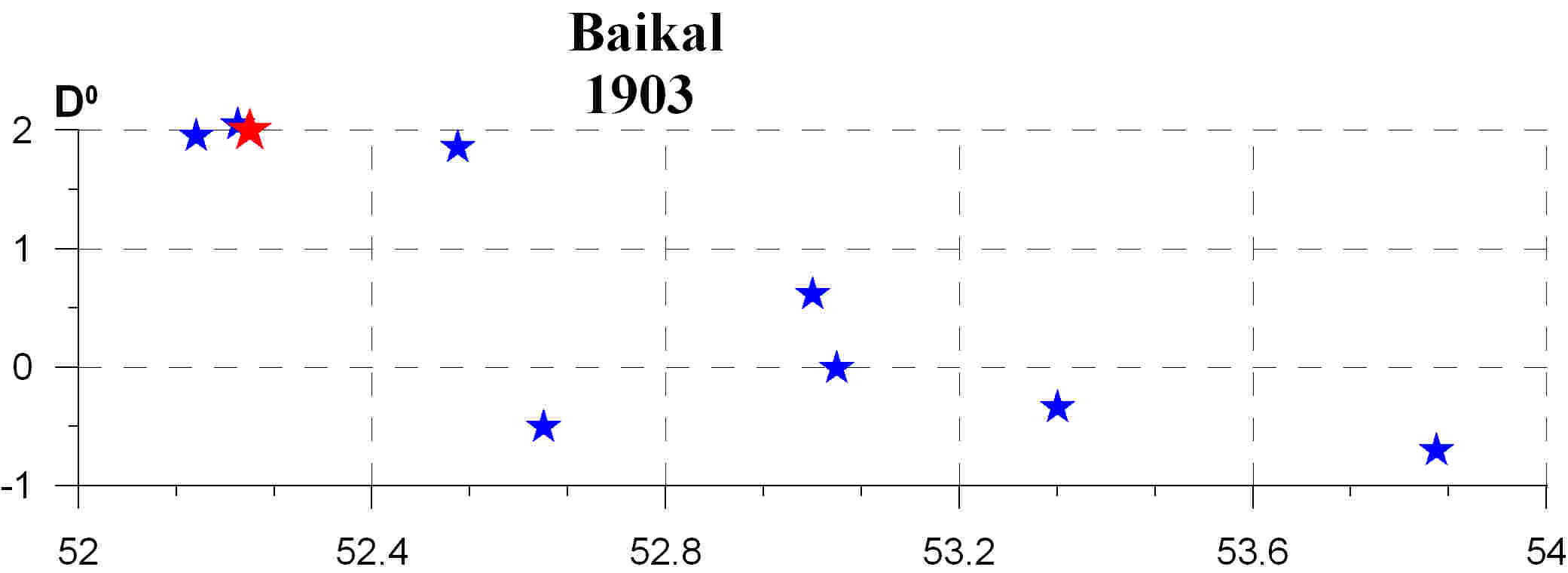


**Рис. 11. Профили компонент магнитного поля по оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва (приведены к эпохе 2013г.).** Результаты полученные на обсерватории «Иркутск» обозначены красной звездочкой, результаты экспедиции 2009 г. – синими кружочками, результаты экспедиции 2010 г. – коричневыми квадратиками и результаты экспедиции 2014 г. – зелеными треугольниками.

Для определения границ и характера аномалии нам не хватает пунктов наблюдения. Поэтому мы решили воспользоваться архивными материалами А.Вознесенского (рис.12). Его данные приведены к 1903 году и включают только величины магнитного склонения D. Для анализа были взяты пункты также лежащие примерно на оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва. Красной звездочкой отмечен Иркутск.

Из рисунка 12 хорошо видно, что резкое изменение магнитного склонения происходит в районе 52.60 с.ш.

Более точно, определить не только линейные (в азимутальном направлении), но и пространственные границы аномалий можно только проведя дополнительные наблюдения.



**Рис. 12. Профиль D компоненты магнитного поля по оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва**

**(приведены к эпохе 1903г.).** Красной звездочкой отмечен Иркутск.

**Заключение**

В 2014 году получены следующие результаты:

1. Проведен анализ архивных материалов по исследованию магнитного поля о.Байкала. Наиболее полным является исследование А.Вознесенского, который обобщил магнитные наблюдения начиная с XVIII в.
2. Впервые проведена экспедиция по измерению трех компонент геомагнитного поля на западном побережье центральной части о.Байкал (четыре пункта, 11 наблюдений). Проведены повторные абсолютные измерения в районе обсерватории «Торы» Тункинской долины (три пункта, 10 наблюдений)
3. Подтверждено наличие сильной магнитной аномалии в районе обс. «Торы». Магнитное склонение на расстоянии менее 3 км изменяется на 2.50. В центральной и северной частях Тункинской долины значение склонения примерно соответствует склонению на обсерватории «Иркутск» -30, в то время как у южного края долины склонение -5.70. Аномалия нанесена на карту.
4. Установлено, что значения компонент магнитного поля на западном берегу о.Байкал в общем соответствуют значениям, полученным для о.Ольхон и центральной акватории о.Байкал.
5. Впервые проведен анализ векового хода в Тункинской долине (р-он обс. Торы, 2010-2014 гг.). Изменения во всех трех компонентах магнитного поля и в Иркутске и в Торах идут в одном направлении: значения F и Z увеличиваются, H - уменьшаются, D - также уменьшается. При этом скорость изменения значений магнитного поля в Торах в среднем в 2 раза выше и эта скорость увеличивается.
6. Для определения границ магнитной аномалии центрального Байкала результаты экспедиций 2009, 2010, 2014 представлены в виде профиля по оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва. На профиле отчетливо прослеживается аномалия, но для более точного пространственного определения границ не хватает пунктов наблюдений
7. Используя архивные данные, приведенные к эпохе 1903г., построен аналогичный профиль. Согласно архивным данным граница магнитной аномалии по оси Иркутск-Ольхон-Ушканьи о-ва лежит около 52.60 с.ш.

Приложение1

