

Федеральное агентство научных организаций
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.34

№ гос. рег. 01201266121

УТВЕРЖДЕНО
РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА
Протокол № 10 от 24.11.2016
Председатель Ученого совета,
директор института, п.п.-м.н.

А.А. Изыбанков



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

ПРОЕКТ П.2П/IX.128-7. Активизации сейсмического процесса в областях добычи, производства и транспорта энергоресурсов в Сибири: тенденции развития на основе регулярных инструментальных наблюдений
(промежуточный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО
0340-2015-0028

Комплексная программа фундаментальных исследований
Сибирского отделения РАН № П.2П «Интеграция и развитие» на 2016 год

IX.128. Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные
геодинамические процессы

Научный руководитель
темы, к.г.-м.н.

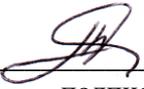


Ц. А. Тубанов

Улан-Удэ, 2016

Список исполнителей

Научный руководитель,
зав.лаб., к.г.-м.н.


_____ 30.11.2016
подпись, дата

Ц. А. Тубанов

Исполнители темы
в.н.с., д.г.-м.н.


_____ 30.11.2016

Ю. Ф. Мороз

м.н.с.,


_____ 30.11.2016
подпись, дата

П. А. Предин

м.н.с., к.ф.-м.н.


_____ 30.11.2016
подпись, дата

А. А. Добрынина

Реферат

Отчет 15 стр., 8 рис., 8 источников, 1 прил.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ТЕКТОНОМАГНЕТИЗМ, МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ ЗОНДИРОВАНИЯ, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, БАЙКАЛЬСКИЙ РИФТ, ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, СЕТЬ НАБЛЮДЕНИЙ

Предметом исследования является динамика естественного электромагнитного поля Земли и выявление основных особенностей, связанных с сейсмичностью. Общей целью работы является исследование характера временных вариаций геомагнитного поля в сравнении с данными локального сейсмологического каталога землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой зоны.

Наблюдения геомагнитного и электромагнитного поля проведены на сети стационарных геомагнитных и магнитотеллурических наблюдений. В результате исследован характер вековых геомагнитных вариаций. Проведен анализ данных трехкомпонентных наблюдений геомагнитного поля посредством использования расчетов магнитного типпера. По данным магнитотеллурических наблюдений получены данные о глубинной электропроводности литосферы.

Проведены исследования по определению надежных критериев дискриминации слабых землетрясений и промышленных взрывов на примере событий для целей формирования представительного сейсмического каталога.

Содержание

Нормативные ссылки.....	5
Определения, обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	6
Комплексный анализ геофизических полей (геомагнитных, электромагнитных) в связи с вариациями сейсмического режима в очаговых областях Байкальского рифта.....	7
Распознавание слабых землетрясений и промышленных взрывов.....	11
Заключение.....	13
Список использованных источников.....	14
Приложение 1.....	15

Нормативные ссылки

В настоящем отчете о НИР использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.32-2001 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу, отчет по научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;

ГОСТ 1.5-93 Государственная система стандартизации РФ. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов

Определения, обозначения и сокращения

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями, обозначениями и сокращениями:

Геоманнитное поле - магнитное поле, генерируемое внутриземными источниками. Предмет изучения геомагнетизма.

Магнитные вариации - изменения во времени геомагнитного поля, обусловленные существованием как внутренних, так и внешних по отношению к поверхности Земли источников магнитного поля. Магнитные вариации с периодами от секунды до нескольких лет обусловлены электрическими токами в ионосфере и магнитосфере Земли. Единица измерения – наноТесла (нТл).

Магнитотеллурические зондирования (МТЗ) - один из методов индукционных зондирований Земли, использующий измерения естественного электромагнитного поля. Применяется при геофизических исследованиях.

Электропроводность - способность тел проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению.

Введение

Ранее нами [1-5] установлена информативность частотно-временных преобразований вертикальной и горизонтальной составляющих электрического поля в связи с геодинамическими процессами в Байкальской рифтовой зоне. При обработке рядов наблюдений использован функционал - электрический типпер, связывающий вертикальную и горизонтальные составляющие электротеллурического поля и отражающий распределение электрических токов в районе геоэлектрической неоднородности. По данным частотно-временного анализа выявлены аномальные изменения в параметрах электрического типпера на периодах от 100 до 1000 с, которые могут быть связаны с землетрясениями. Аномалии проявляются в увеличении вещественного типпера в несколько раз примерно за несколько суток до землетрясений. Они вызваны перераспределением активных электрических токов в районе глубинных разломов, где возможны изменения уровня и минерализации вод перед землетрясением.

Проблемы поиска аномальных электромагнитных эффектов, связанных с землетрясениями, обусловлены тем, что наблюдения часто осуществляются на небольших площадях по редкой сети и в кратковременные интервалы времени. Наряду с этим крайне ограничены или практически отсутствуют сведения об электропроводности геологической среды в пунктах наблюдений, что не даёт возможности определить возможную природу эффектов в электромагнитном поле и электропроводности геологической среды.

Содержание работы: Комплексный анализ геофизических полей (геомагнитных, электромагнитных) в связи с вариациями сейсмического режима в очаговых областях Байкальского рифта.

Планируемый результат выполнения работы: По данным геомагнитного и электромагнитного мониторинга в очаговых областях Среднего Байкала и сопредельной территории Западного Забайкалья построены ряды вариаций геомагнитного и электромагнитного типпера

Комплексный анализ геофизических полей (геомагнитных, электромагнитных) в связи с вариациями сейсмического режима в очаговых областях Байкальского рифта.

Специально для целей средне и краткосрочного прогноза землетрясений с 1995 года Геологическим институтом СО РАН ведется поэтапное развитие локальной системы мониторинга напряженного состояния среды. Главными особенностями локальной системы наблюдений (рис. 1) являются: 1) совмещение сейсмического мониторинга в пассивном (регистрация землетрясений) и активном (вибросейсмическое зондирование) вариантах; 2) комплексность наблюдений (помимо сейсмологических, выполняются магнитометрические, **электромагнитные** и гидрогеохимические наблюдения); 3) ориентировка на автоматический (без оператора) режим регистрации и цифровой тип регистрации.

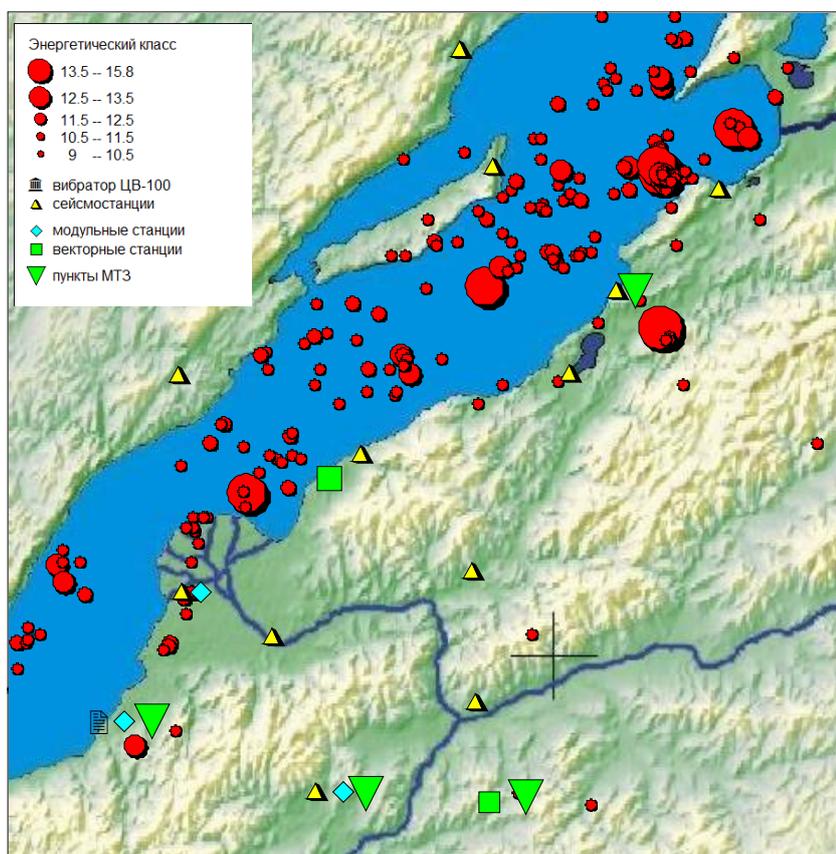


Рис. 1. Сеть комплексных геофизических наблюдений в области Среднего Байкала.

Инструментальные наблюдения вариаций геомагнитного поля выполняются Геологическим институтом СО РАН с 2000 года в пунктах Хурамша, Надеино, Степной Дворец, Сухой Ручей. Для мониторинга используются магнитовариационные станции МВ-01 и МВ-02. С 2000 года регистрация осуществляется с дискретностью 2 мин, точность наблюдений составляет 0,1 нТл. В пункте Надеино регистрируются компоненты (H, D, Z) и полный вектор геомагнитного поля (F), в остальных – только полный вектор (рис. 2). Так же в

обработке использовались данные обсерватории Патроны за 2000-2015 гг. с дискретностью 1

минута в формате IAGA2002 Института солнечно-земной физики СО РАН [6]. Первичная обработка данных геомагнитного мониторинга сводилась к удалению помех и выбросов, нормирования, интерполяции и последующего осреднения временных рядов. Для анализа вариаций геомагнитного поля в различных частотных диапазонах исходные временные ряды пересчитывались в среднечасовые, среднесуточные и среднегодовые значения.

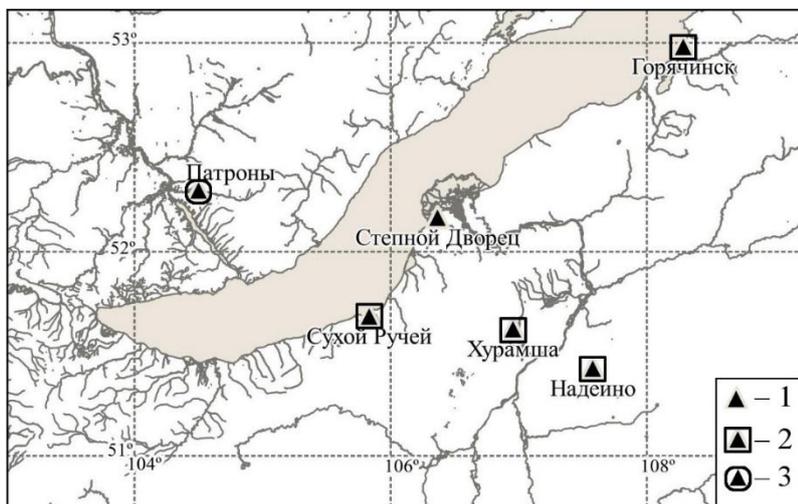


Рис. 2. Схема расположения пунктов геомагнитных и электромагнитных наблюдений, 1 – пункты тектономагнитного мониторинга, 2 – пункты МТЗ, 3 – обсерватория Патроны.

Анализ среднегодовых значений напряжённости геомагнитного поля в пунктах наблюдений позволяет сделать следующие выводы (рис. 3а, 3б): 1) Понижение среднегодовых значений, наблюдавшееся до 2008 года включительно, сменилось увеличением. 2) Для пункта наблюдения Надеино уменьшение среднегодовых значений с 2001 по 2008 гг. на 28 нТл, сменилось увеличением на 44 нТл в течение 2008-2015 гг. 3) Для обсерватории Патроны за тот же период значения напряжённости геомагнитного поля составили 15 и 54 нТл.

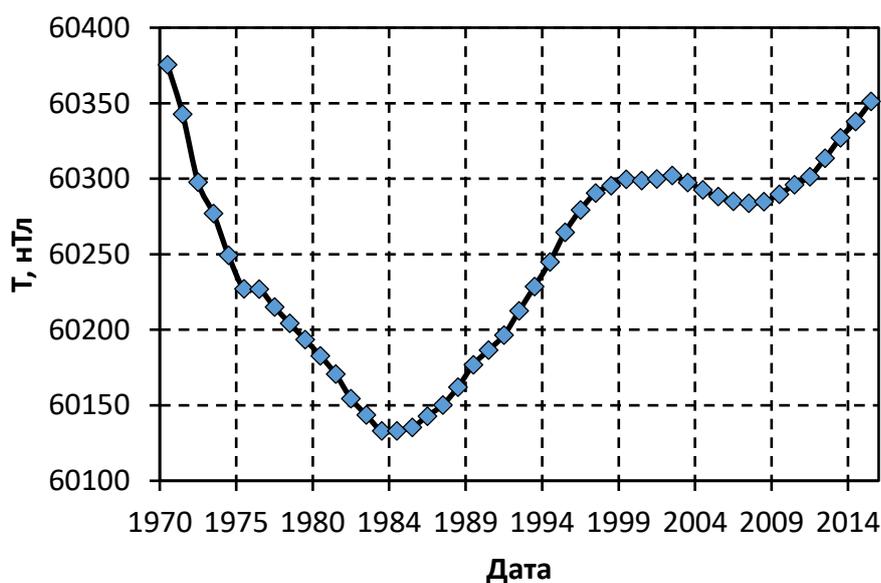


Рис. 3а. Вековая вариация полного вектора геомагнитного поля за 1970-2015 гг., обсерватория Патроны.

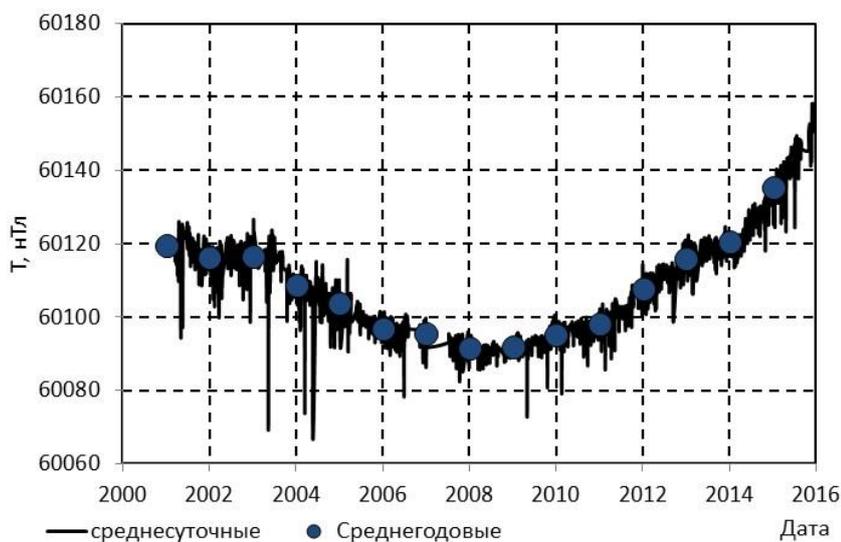


Рис. 36. Полный вектор геомагнитного поля за 2001-2015 гг., Надеино.

Рассчитанные разности среднегодовых значений напряженности магнитного поля между пунктами наблюдения и обсерваторией Патроны, за 2001-2008 гг. имеют следующие значения: для пункта Сухой ручей разность составляет порядка 4 нТл, для п. Хурамша – 8 нТл, и для п. Надеино – 13 нТл. По значениям, полученным для последующего периода 2008-2015 гг. можно говорить об уменьшении абсолютной величины разности. Так, максимальное значение за соответствующий период получено для пункта Надеино, и составило 10 нТл. Возрастание величин напряженности геомагнитного поля вкрест простирания Байкальского рифта, в направлении от пункта Патроны к Надеино, говорит о региональном характере этого явления (рис. 4).

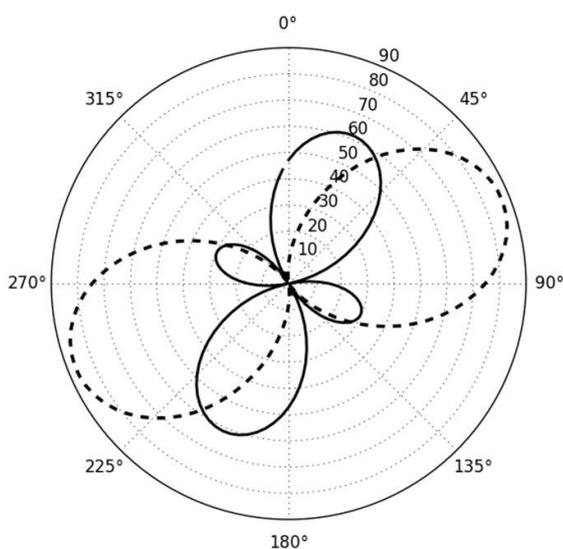
Рис. 4. Разность среднегодовых значений напряжённости магнитного поля между пунктами наблюдений.



Ряды H -, D -, Z -составляющих геомагнитного поля, зарегистрированные в пунктах Патроны и Надеино были использованы для определения компонент индукционной матрицы Визе-Паркинсона [7]. В результате расчетов для данных пунктов наблюдения были получены вещественная (ReW) и мнимая (ImW) часть магнитного типпера и их азимуты. Значение типпера характеризует связь вариаций вертикальной составляющей геомагнитного поля с горизонтальными составляющими в

пункте наблюдения, полученные значения для которых имеют следующие особенности. На периодах от 100 до 1000 с вещественные типперы, полученные для пунктов наблюдения, направлены в сторону Байкальской впадины. На этих периодах они имеют различную длину и азимут, что свидетельствует о влиянии проводящих зон, залегающих на разных глубинах. В пункте Патроны вещественный типпер ReW имеет максимум на периоде 1000 с, такой период волны приблизительно соответствует ее распространению на расстояние более 100 км. Предполагается, что поведение векторов индукции в рассматриваемом диапазоне периодов связано с рифтовой зоной. В пункте Надеино, находящемся на расстоянии около 80 км от оз. Байкал, максимум вещественного типпера имеет значение 0.3 на периоде 120 с; азимут типпера – 330° , максимум мнимого типпера отмечен на периоде примерно 700 с. Вещественный и мнимый типперы почти коллинеарны в высокочастотной области, что также указывает на наличие вытянутой проводящей зоны.

В настоящее время, с использованием аппаратуры, представленной Институтом сейсмологии и вулканологии университета Хоккайдо (Япония), в центральной части Байкальского рифта создана сеть магнитотеллурических наблюдений (пункты МТЗ – рис. 1,2) для изучения глубинного строения и динамических процессов в земной коре и верхней мантии Байкальской рифтовой зоны. Со-руководитель с японской стороны известный крупный учёный в области сейсмоэлектромагнитных исследований сейсмоактивных зон - Тору Моги, профессор Института сейсмологии и вулканологии университета Хоккайдо. Используется два МТ-прибора *TierraTechnica U-43*, пять регистраторов *Datamark* производства Японии. Изучен спектральный состав и подобраны оптимальные частоты дискретизации измерения компонент электрического и магнитного полей. Получены ряды изменений геоэлектрического (E_x, E_y) и магнитного (H_x, H_y, H_z).



В пункте Надеино по данным наблюдений магнитотеллурического поля с помощью программы [8] получена кривая магнитотеллурического зондирования в диапазоне периодов от 5 до 10000 секунд, характеризующая электропроводность литосферы до глубины примерно 150 км (рис. 5).

Рис. 5. Кривые МТЗ (R_k) в пункте Надеино по ортогональным направлениям (а – NS, б – EW).

Полярные диаграммы импеданса свидетельствуют о сильной геоэлектрической неоднородности среды (рис. 6). Электропроводность литосферы в северо-западном направлении

почти на три порядка превышает электропроводность в юго-восточном направлении. Выявленная геоэлектрическая неоднородность электромагнитного поля на низких частотах может быть связана с разломом, проникающим в литосферу на большие глубины. Верхний относительно проводящий слой имеет интегральную проводимость 10-15 Сим. Мощность слоя, по-видимому, составляет от 0,8 до 1 км. По предварительным данным литосфера региона содержит проводящий слой на глубинах 100-150 км. Вариации геомагнитного поля на периодах 100 и 1000 с приурочены к максимуму кривой МТЗ, характеризующей высокоомный слой литосферы. Литосфера по сравнению с озера Байкал отличается повышенным электрическим сопротивлением.

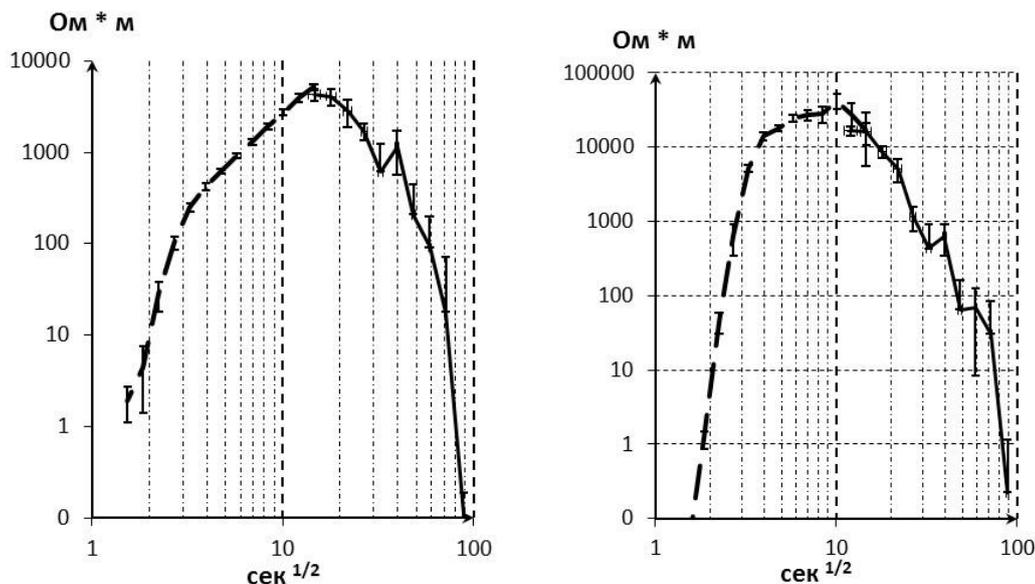


Рис. 6. Полярная диаграмма тензора импеданса на частоте 700 секунд, п.н. Надеино.

Распознавание слабых землетрясений и промышленных взрывов

Проведены работы по выделению надежных критериев дискриминации слабых землетрясений и промышленных взрывов на примере событий, локализованных на территории Восточно-Бейского угольного разреза (Республика Хакасия, Россия). Анализировались сейсмограммы 22 промышленных взрывов ($M=1.2 - 2.3$) и 6 землетрясений (Абаканское землетрясение 12 декабря 2013 г., $M=4.9$ и 5 его афтершоков с магнитудами 0.8 - 2.2 – (рис. 7), записанных региональной сетью сейсмических станций Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (КНИИГиМС). Были использованы записи сейсмических станций Табат (ТВТР) и Большая Речка (BLRR) сети КНИИГиМС (KRAR), действующих с 2005 г., оснащенных регистраторами «Байкал» и сейсмоприемниками СМЗ-КВ, установленными на выходах скальных пород. Землетрясения и взрывы локализируются в одной и той же области. Эпицентральные расстояния варьируются в пределах 52 - 72 км (землетрясения) и 59 - 77 км (взрывы) относительно станции Большая Речка и в пределах 70 - 87 км (землетрясения) и 61 - 78 (взрывы) относительно станции Табат.

При исследовании сейсмограмм землетрясений и взрывов использовалось несколько подходов: визуальный анализ (формы записи, наличия поверхностной волны, полярности первого вступления Р-волн, отношения амплитуд продольных (P, P_g), поперечных (S) и поверхностных (R_g) волн); фильтрация записей системой узкополосных фильтров в диапазоне от 0.5 до 20 Гц; расчет спектров Фурье и спектрально-временной анализ (СВАН). Визуальный анализ сейсмограмм промышленных взрывов показал, что их волновая картина не стабильна. Длительность и амплитуда поверхностной волны также значительно изменяются для разных взрывов. Отношения амплитуд P/S и P_g/R_g волн землетрясений и взрывов варьируются в достаточно широких пределах, не позволяющих уверенно установить пороговое значение, при котором может быть проведено разделение событий разной природы. То есть, вышеперечисленные критерии дискриминации землетрясений и взрывов не являются надежными для исследуемого региона.

Рис. 7. Расположение сейсмических станций относительно эпицентров землетрясений и промышленных взрывов

Проведенный спектральный анализ показал, что исследованные взрывы характеризуются более низкочастотным излучением по сравнению с землетрясениями. Сопоставлением Фурье-спектров слабых землетрясений и взрывов установлено, что, в целом, для взрывов характерны более сложные изрезанные спектры с максимумами в области низких частот. СВАН-диаграммы, показывающие распределение интенсивности излучения по частотам и по времени приведены на рисунке 2. Для землетрясений максимум излучения приходится на



поперечные волны (диапазон от 4 до 25 Гц), при этом низкочастотная составляющая излучения быстро затухает со временем (рис. 2). Второй максимум излучения (более слабый и более высокочастотный, > 10 Гц) соответствует продольным волнам. Для взрывов наблюдается иная картина – максимум излучения приходится на продольные волны (характерен широкий диапазон частот – от 4 до 25 Гц), интенсивность излучения поперечных волн значительно ниже (рис. 8). Поверхностные волны очень хорошо выражены. Для взрывов характерно более быстрое затухание высокочастотной составляющей излучения по сравнению с землетрясениями. В ходе исследований

было установлено, что два события, ранее определенные как взрывы, являются слабыми землетрясениями (рис. 8).

Проведенные предварительные исследования показали, что из нескольких опробованных критериев дискриминации землетрясений и взрывов для района Восточно-Бейского угольного разреза наиболее информативным является спектрально-временной анализ сейсмограмм. Дальнейшие работы в указанной области будут направлены на улучшение статистики для создания алгоритма дискриминации землетрясений и взрывов для рассмотренного участка Бейского каменноугольного месторождения (Восточно-Бейского разреза), а также других районов Хакасии и Тувы.

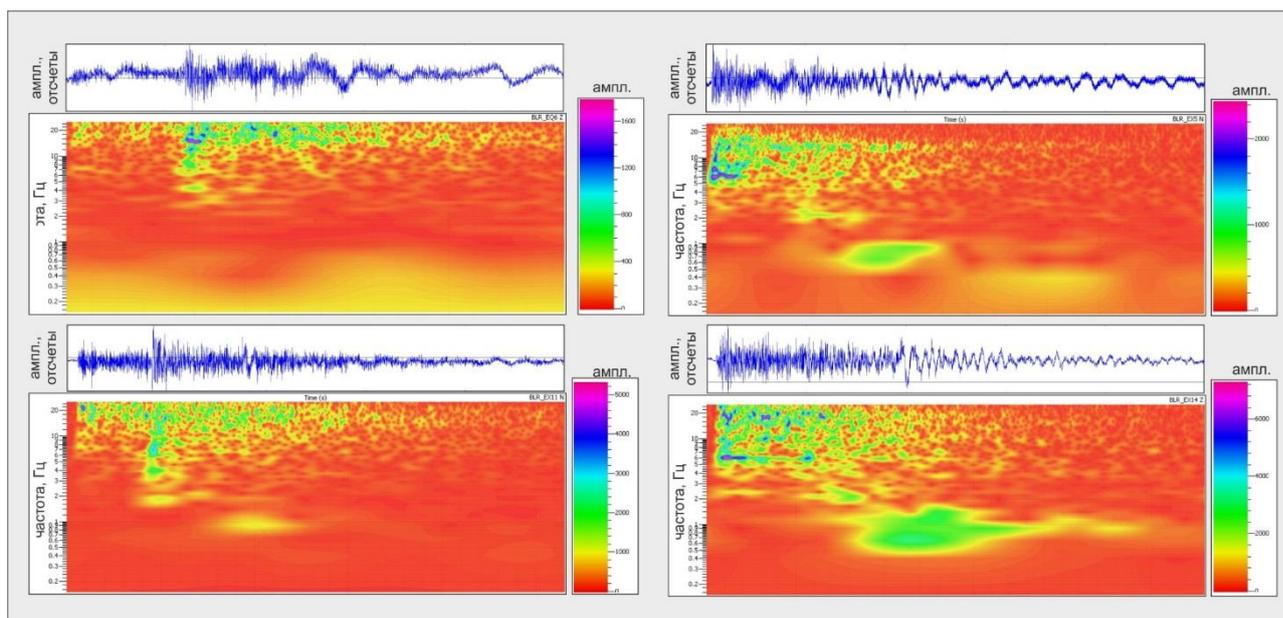


Рис. 8. Примеры записей и землетрясений: а – 08 октября 2014 г., $M=1$; б – 18 сентября 2014 г., $M=1.3$) и промышленных взрывов: в – 21 февраля 2015 г., $M=1.2$, г – 9 октября 2014 г., $M=1.7$. Сейсмическая станция Большая Речка.

Заключение

В результате проведенных НИР согласно гос. заданию на 2016 год (приложение 2) получены следующие результаты. В пункте Надеино по данным наблюдений магнитотеллурического поля изучена электропроводность литосферы до глубины примерно 150 км. Верхний относительно проводящий слой имеет интегральную проводимость 10 - 15 Сим. Мощность слоя 0,8 - 1 км. Литосфера содержит проводящий слой на глубинах 100 - 150 км. Характерно, что электропроводность литосферы в северо - западном направлении почти на три порядка превышает электропроводность в юго - восточном направлении. Выявленная геоэлектрическая неоднородность на низких частотах электромагнитного поля может быть связана с разломом, проникающим в литосферу на большие глубины. Разрез литосферы в окрестности пункта наблюдений Надеино

(Забайкалье) по сравнению с пунктами вблизи оз. Байкал (Байкальский рифт) отличается повышенным электрическим сопротивлением.

Для оценки параметров режима естественной сейсмичности слабосейсмичных территорий (к которым можно отнести Забайкалье), важной задачей является разработка надежных критериев дискриминации слабых (природных) землетрясений и промышленных взрывов. Полученные методические результаты по анализу многочисленных взрывов на территории Красноярского края, являются надежной фактологической базой для анализа сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья.

Список использованных источников

1. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А. Магнитовариационные исследования в районе озера Байкал // Физика Земли. 2006. № 11. с. 93-98.
2. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Моги Т. Методика и результат мониторинга естественного электрического поля Земли в Байкальской рифтовой зоне// Физика Земли. 2007. № 11. С. 37-49.
3. Мороз Ю. Ф., Мороз Т. А. Магнитотеллурическое зондирование Байкальского рифта. В кн: Электромагнитное зондирование Земли. Санкт-Петербург. Изд-во СПТГУ. 2011. С. 265-268.
4. Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Буглова С.Г. Вертикальная и горизонтальная составляющие электротеллурического поля на оз. Байкал и их связь с электропроводностью среды// Физика Земли. 2008. № 3. С. 73-83.
5. Мороз Ю. Ф. Изменения геомагнитного поля и магнитного типпера в Байкальской рифтовой зоне / Мороз Ю. Ф., Татьков Г. И., Мороз Т. А., Тубанов Ц. А., Предеин П. А. // Геофизические исследования. 2013. Т. 14. №3. С.10-23.
6. International Real-time Magnetic Observatory Network [Электронный ресурс] // INTERMAGNET Data Download. URL: <http://intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php> (дата обращения 28.04.2016).
7. Мороз Ю.Ф., Напылова О.А. Краткосрочные предвестники землетрясений в вариациях низкочастотных магнитотеллурических матриц// Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 67-76.
8. Larsen I. C. Robust smooth magnetotelluric transfer functions / Larsen I.C., Mackie R. L., Manzella A., Fiodelisi A., Rieven S. // Geophys. J. Inter. 1996. V. 124. P.801–819.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2016 год:

Мороз Ю.Ф., Смирнов С.Э., Назарова З.А. Аномальные изменения вертикального геомагнитного поля на камчатке // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2016. № 4 (15). С. 80-85. <http://elibrary.ru/item.asp?id=27294959>