Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Горный институт Уральского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики
им. Ю. П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Уральский государственный горный университет»

Пермское отделение ЕАГО

ВОСЕМНАДЦАТАЯ УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ

Сборник научных материалов

Пермь 2017

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.3
ББК 26.324
Ш 5614

Восемнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2017, 267 с.

Сборник содержит материалы, представленные на Восемнадцатой Уральской молодежной научной школе по геофизике, состоявшейся в Перми 13-17 марта 2017 г. Рассматривается широкий круг вопросов современной геофизики – от новых научно-практических разработок в области физики твердой Земли до совершенствования технологий применения геофизических методов при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Издание представляет интерес для специалистов научных и производственных организаций, занимающихся геофизическими исследованиями природных и природно-техногенных объектов.

Главный редактор
член-корреспондент РАН А.А. Маловичко (ФИЦ ЕГС РАН)

Ответственный редактор
кандидат физико-математических наук Р.А. Дягилев (ГИ УрО РАН)

Редакционная коллегия: профессор, д.т.н. В.И.Костицын (ПГНИУ), профессор, д.т.н. В.А.Гершанок (ПГНИУ)

Рецензенты: профессор, д.г.-м.н. Б.А.Спасский (ПГНИУ),
д.г.-м.н. С.Г.Бычков (ГИ УрО РАН)

ISBN 978-5-7691-2476-1

© ГИ УрО РАН, 2017

УДК 551.594

ВАРИАЦИИ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭРУПТИВНОГО ОБЛАКА ОТ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 17.12.2016 г. (КАМЧАТКА)

Акбашев Ринат Рафикович[1], Мельников Дмитрий Владимирович[2], Фирстов Павел Павлович[1]
[1]КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
[2]ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский
arr@emsd.ru, dvmivs@gmail.com, firstov@emsd.ru

Аннотация: По комплексу геофизических методов рассмотрено развитие эруптивного шлейфа от эксплозии камчатского вулкана Шивелуч 16 декабря 2016 г. Начало эксплозии было определено по сейсмическим данным, а спутниковые снимки и ветровая стратификация атмосферы позволили определить направление шлейфа, возникшего от этого извержения. Пеплопад в пос. Ключи сопровождался аномальным значением градиент-потенциала электрического поля атмосферы до -1230 В/м.
Ключевые слова: извержение, эруптивное облако, вулканический шлейф, электрическое поле атмосферы, градиент потенциала.

Введение

Электрическое поле атмосферы (ЭПА) является неотъемлемым геофизическим фактором в общей системе геофизических полей планеты Земля. С ним связано протекание многих природных явлений, как в толще атмосферы, так и непосредственно у поверхности Земли [4]. ЭПА чутко реагирует на малейшие изменения в атмосфере, в локальных и глобальных масштабах, как в приземном слое, так и на значительных высотах. В некоторых случаях, анализ вариаций ЭПА позволяет говорить о возможности возникновения лесных пожаров, землетрясений, эволюции тропических циклонов, так же о прохождения над зоной регистрации аэроэлектрических структур, различного генезиса, в том числе эруптивных шлейфов, возникающих во время мощных эксплозивных извержений вулканов**.**

Вблизи постройки вулкана выпадает наиболее тяжелая фракция пепла; легкая фракция и аэрозоли начинают распространяться на сотни километров, а при сильных эксплозивных извержениях на тысячи. В некоторых случаях вулканические шлейфы несут мощный электрический заряд, который может регистрироваться приборами наземного базирования. Контролируя градиент потенциала электрического поля атмосферы (*V*’ ЭПА) в приземном слое, можно обнаруживать присутствие даже аэрозольных (слабонасыщенных частицами мелкодисперсного пепла) эруптивных облаков [6, 7].

Натурные наблюдения, проводимые во время эксплозивных извержений, показали, что большую роль в электризации эруптивных облаков имеет процесс фрагментации (разрушения) магмы [3, 5, 6]. При этом в силу различных физических эффектов в эруптивном облаке происходит формирование разнополярных зарядов и возникновение вулканических молний различной интенсивности. Основными причинами электризации эруптивного облака при фрагментации магмы и формировании эруптивной колоны могут быть [3]:

1. Разная подвижность катионов Na^+ в примесных центрах на поверхности фрагментированных частиц с разной структурой. Частицы с аморфной структурой поверхности заряжаются положительно, а с кристаллической – отрицательно.
2. Разделение частиц разных размеров в эруптивной колоне и образующегося затем шлейфа вулканических продуктов приводит к их разнополярному заряжению и пространственному разделению зарядов, как в эруптивной колоне, так и под шлейфом эруптивного облака. В первом случае разделение обусловлено газодинамическим сопротивлением при инжекции пеплогазовой струи в атмосферу, а во втором – в результате гравитационной дифференциации.

В статье показан отклик вариаций градиент потенциала электрического поля атмосферы (*V'*ЭПА) во время пеплопада в п. Ключи (Камчатский край) 17 декабря 2016 г., произошедший в результате извержения в. Шивелуч 16 декабря 2016 г. в ≈22:31 (здесь и далее UTC).

Аппаратура и система наблюдения

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН регистрация *V'*ЭПА ведется на трех пунктах (рис. 1а). С 2010 г. на восточном побережье Камчатки работает пункт KRM. Организация пунктов KLY и KZV в центральной части полуострова Камчатка представляет особый интерес, так как возможно сравнение поведения унитарной и годовой вариаций *V'* ЭПА континентального и прибрежного районов Камчатки.

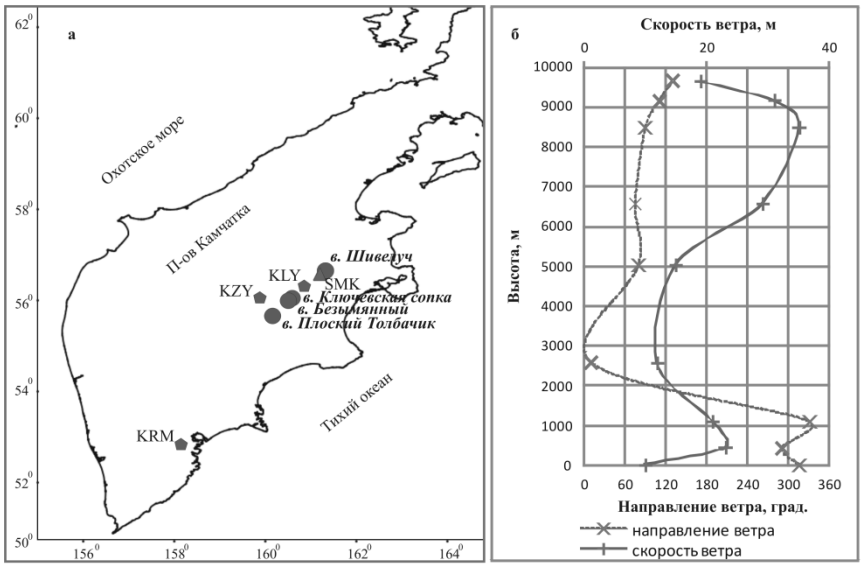


Рис. 1. Схема расположения пунктов регистрации *V' ЭПА* на Камчатке (а) и вертикальные разрезы скорости и направления ветра по данные баллонного зондирования атмосферы 17 декабря 2016 г. (б). KLY – сейсмостанция «Ключи»; KZY – сейсмостанция «Козыревск»; KRM – пункт «Карымшина»

Кроме того, здесь же располагается Северная группа вулканов, включающая четыре активно действующих вулкана: Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Плоский Толбачик, частые эксплозивные извержения которых увеличивают вероятность регистрации *V'* ЭПА под вулканическими шлейфами [7]. Исходя из этого, на сейсмической станции «Козыревск» (KZY) в 2013 г. *был установлен электростатический флюксметр «ЭФ-4», описание которого дано в работе [2]*. В конце ноября 2016 г. на сейсмостанции «Ключи» («KLY») также был установлен флюксметр (рис. 1а). Данные пункты

регистрации позволят более детально изучать отклики в вариациях *V*’ ЭПА при активизации вулканов Северной группы.

Мониторинг вулканической активности вулканов Северной группы осуществляется КФ ФИЦ ЕГС РАН на основании изучения сейсмичности отдельных вулканов. В районе северной группы вулканов работает сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС). Ближайшая к вулкану Шивелуч РТСС «Семкорок» (SMK) находится в 10 км от кратера вулкана (рис. 1а).

На метеорологической обсерватории «Ключи» Камчатского управления по гидрометеорологии и мониторингу за окружающей средой, располагающейся в поселке Ключи на удалении 48 км от вулкана Шивелуч, ведутся наблюдения за метеорологическими величинами (атмосферное давления, температура воздуха, влажность). Также два раза в сутки проводится высотное баллонное зондирование атмосферы, а получаемые данные публикуются на сайте [8].

По данным ветровой стратификации выполненной 17.12.2016 в 00:00 (рис. 1б) на высотах 2500-4500 м зафиксирована скорость ветра 10-15 м/с с северного – северо-восточного направления с азимутом 0°-45° соответственно, на высотах 5000 м и выше скорость ветра меняется от 15 м/с до 35 м/с преимущественно с восточного направления с азимутом 80°-90°.

Краткое описание извержения в. Шивелуч 16 декабря 2016 г.

Вулкан Шивелуч – самый северный из действующих вулканов Камчатки (56°47’ с.ш., 157°56’ в.д.) с андезитовым составом лавы и высотой экструзивного купола 2500 м н.у.м. В последние десятилетия его извержение, обусловленное медленным выжиманием магмы и формированием экструзивного купола, периодически сопровождается сильными пепловыми эксплозиями. При этом эруптивное облако может подниматься до высот тропопаузы (для полуострова Камчатка – 10-12 км летом и 8-10 км зимой). Эруптивное облако, состоящее из мелкой фракции вулканического пепла и аэрозоля, по мере движения на высотах в несколько километров сохраняет электрическую структуру на удалении до 1000 и более километров, при этом по мере распространения такого облака происходит гравитационное отсеивание (выпадение) крупных, мелких и аэрозольных частиц пепла. Эксплозивное извержение, произошедшее на в. Шивелуч 16 декабря 2016 г. можно охарактеризовать как среднее по высоте эруптивного облака. На рис. 2а показан фрагмент сейсмограммы (вертикальная компонента) сейсмостанции Семкорок (SMK), на которой записано землетрясение, сопровождавшее эксплозию на в. Шивелуч 16 декабря 2016 г в 22:31. На основании сейсмического сигнала [1] высота эруптивного облака оценивается в 5600 м н.у.м. Спустя ≈ 2 часа в п. Ключи, который расположен южнее в 48 км от кратера в. Шивелуч по азимуту 30°, зарегистрирован пеплопад [9].

По всей видимости, в поселке выпал пепел наиболее крупной фракции, который распространялся на высотах 3000-4500 м в южном юго-западном направлении в соответствии с ветровой стратификацией (рис. 1б). На высотах выше 5000 м пепловое облако распространялось в западном – юго-западном направлении (рис. 1б), что так же отчетливо видно на спутниковых снимках (рис. 3). На момент времени первого спутникового снимка (23:28) (рис. 3а) фронт пеплового облака расположен в 63 км от кратера вулкана, на момент времени второго снимка (01:05) (рис. 3б), фронт пеплового облака расположен в 153 км. Таким образом, скорость распространения пеплового облака составила 16-18 м/с, что соответствует ветровой стратификации на высоте 5000-5600 м н.у.м. (рис. 1б), на этих высотах пепловое облако, видимо, представлено мелкой фракцией вулканического пепла и аэрозолем.

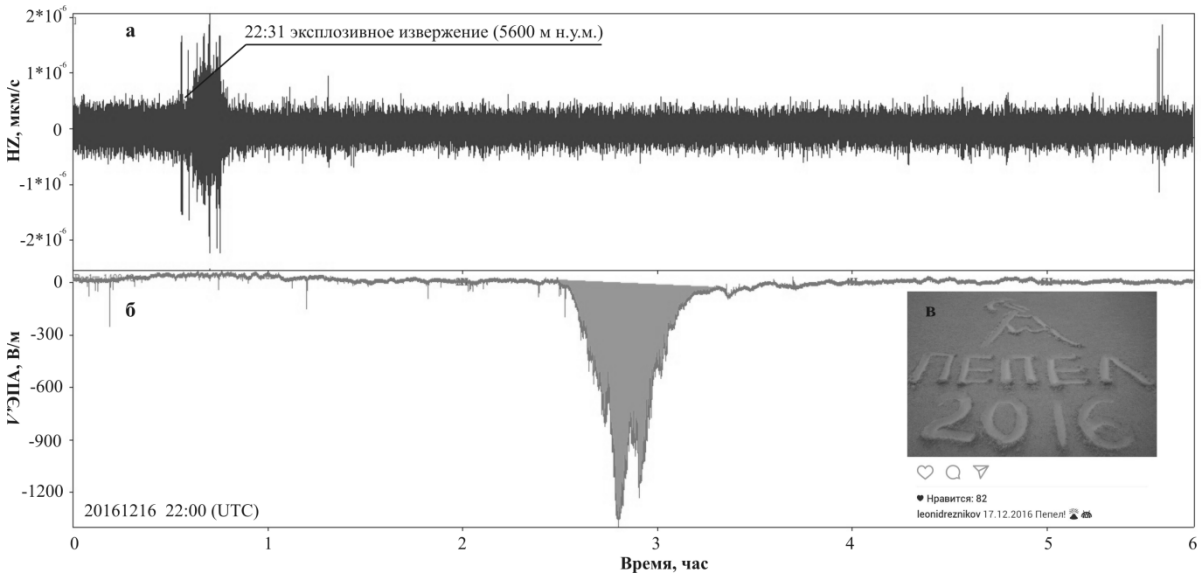


Рис. 2. Фрагмент сейсмограммы записи вертикальной компоненты на сейсмостанции SMK (а); отклик в вариациях V'ЭПА на пеплопад в п. Ключи (б); фото пепла на снегу, приведенное в социальных сетях 17.12.2016 (в)

Выпадения пепла в п. Ключи сопровождалось резким уменьшением V'ЭПА, значение которого в пике составило -1230 В/м и длительностью примерно 45 мин. (рис. 2б). Такой отклик V'ЭПА свидетельствует о том, что пепловое облако (представленное крупной фракцией) несло мощный отрицательный заряд.

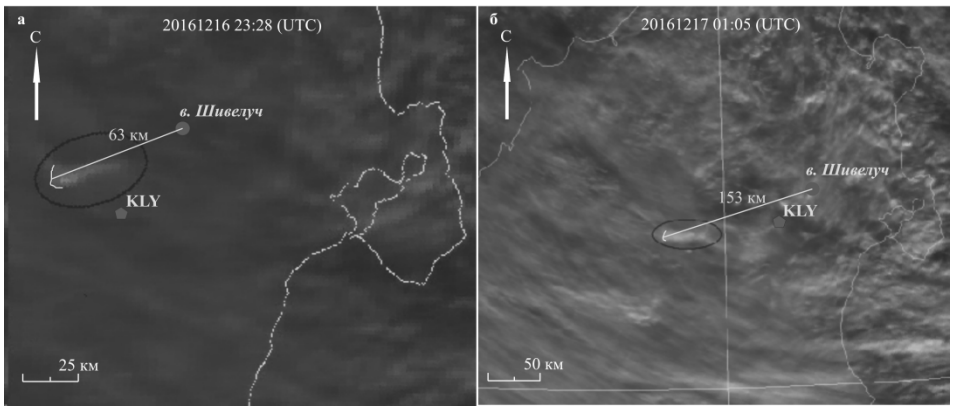


Рис. 3. Спутниковые снимки (Terra MODIS) эруптивного облака от извержения в. Шивелуч. Данные, получены в режиме реального времени на приёмной станции Унискан-36, установленной в ИВиС ДВО РАН

Выводы

Долговременные непрерывные наземные наблюдения за вариациями градиент-потенциала атмосферного электрического поля являются экспериментальной основой современных исследований атмосферного электричества вулканов. Электрическое поле атмосферы является одним из наиболее чувствительных каналов информации о физических процессах при фрагментации магмы, формирования и распространение эруптивных облаков.

Регистрация электрических процессов в эруптивных облаках может быть одной из составляющих комплексного наблюдения за вулканическими извержениями с целью оценки пепловой опасности для авиатранспорта. Кроме того, по мнению авторов, наземные измерения *V*'АЭП под вулканическими шлейфами в ближней зоне (до

500 км) могут в дальнейшем использоваться для оценок объёмов как тяжелой фракции так легкой фракции вулканического пепла в них, что до сих пор является неразрешенным вопросом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Близнецов В.Е. Программа ADAP для автоматического выделения пепловых выбросов и расчёта их высоты по сейсмологическим данным / В.Е. Близнецов, С.Л. Сенюков // Сейсмические приборы. 2015. Т. 51. № 1. С. 46-59.
2. Ефимов В.А. Применение электростатического флюксметра “ЭФ-4” для исследований геодинамических процессов / В.А. Ефимов, Д.М. Орешкин, П.П. Фирстов, Р.Р. Акбашев // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 4. С. 14-24.
3. Руленко О.П. Экспериментальное исследование электризации вулканических облаков [Текст]: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук (04.00.22) / Руленко Олег Петрович. Санкт-Петербург. 1994. 16 с.
4. Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество / Дж.А. Чалмерс. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 420 с.
5. James M.R. Volcanic plume monitoring using atmospheric electrical potential gradients / M.R. James, S.J. Lane, J.S. Gilbert // J. Geol. Soc. London. 1998. № 155. P. 587-590.
6. Mather T.A. Electrification of volcanic plumes / T.A. Mather, R.G. Harrison // Serv Geophys. 2006. V. 37. P. 387-432/ DOI 10/1007/s10712-006-9007-2
7. Shevtsov B.M. Lightning and electrical activity during the Shiveluch volcano eruption on 16 November 2014 / B.M. Shevtsov [et al.] // Nat. Hazard Earth Syst. Sci. 2016, V. 16, P. 871–874, doi: 10.5194/nhessd-16-871-2016.
8. NOAA/ESRL Radiosonde Database [Электронный ресурс] / Prepared by Mark Govett. – режим доступа: http://www.esrl.noaa.gov/raobs/intl/intl2000.wmo
9. Мониторинг вулканической активности [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm

VARIATIONS IN POTENTIAL GRADIENT ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD DURING THE PASSAGE OF ERUPTION CLOUD FROM THE ERUPTION OF SHEVELUCH 17/12/2016 KAMCHATKA)

Rinat R. Akbashev[1], Dmitry V. Melnikov[2], Pavel P. Firstov[1]
[1]KB FRC UGS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
[2]IVaS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
arr@emsd.ru, dvmivs@gmail.com, firstov@emsd.ru

Abstract. Development of explosion eruptible tail of Sheveluch volcano in Kamchatka on December 16, 2016 is considered on a set of geophysical methods. Beginning of explosion was defined in seismic data, satellite imagery and atmosphere wind stratification made it possible to determine tail direction, arising from this eruption. Ash falls in the village of Kluchi was accompanied by anomalous value of electric field gradient of atmosphere potential to -1230 V/m.

Key words: eruption, eruptive cloud, volcanic tail, electric field of atmosphere, potential gradient

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.34

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПАССИВНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Афонин Никита Юрьевич, Данилов Константин Борисович
ФИЦКИА РАН, г. Архангельск
afoninnikita@inbox.ru, danilov_kostea@mail.ru

Аннотация. Основой качества получаемых результатов при комплексном применении пассивных сейсмических методов является выбор наиболее оптимальной системы наблюдений. Различные пассивные сейсмические методы позволяют получать различную информацию о структуре и характеристиках исследуемой среды. Следовательно, у каждого метода имеются свои требования к системам наблюдения. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на выбор оптимальных систем наблюдений при изучении верхней части земной коры комплексом пассивных сейсмических методов.

Ключевые слова: микросейсмы, пассивные сейсмические методы, системы наблюдений

В настоящее время, пассивные сейсмические методы развиваются и успешно применяются при изучении строения земной коры и верхней мантии во всем мире. В основе данных методов лежит анализ микросейсмического поля.

Все пассивные методы можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся методы, основанные на анализе спектрально-амплитудных характеристик микросейсмического поля. К таким методам относятся: метод микросейсмического зондирования (ММЗ) [1], метод резонансных частот (H/V) [4] и т.д. Вторая группа, состоит из методов, в основе которых лежит анализ поля микросейсм во временной области на основе расчета взаимно-корреляционных функций. В данную группу входят методы SPAC [2] и пассивная сейсмическая интерферометрия [5].

При комплексном применении вышеперечисленных методов, можно получить достаточно обширную информацию о структуре и скоростных характеристиках исследуемой среды.

Метод микросейсмического зондирования основан на свойстве фундаментальной моды волны Рэлея увеличивать амплитуду вертикальной компоненты в окрестности низкоскоростной неоднородности в среде и уменьшать – в районе высокоскоростной неоднородности. Таким образом, ММЗ позволяет выделять в среде субвертикальные границы скоростных аномалий. Основным требованием к системе наблюдений в ММЗ является одновременная регистрация микросейсм как минимум двумя сейсмометрами. Один из сейсмометров должен быть установлен стационарно (опорная станция), а остальные перемещаются вдоль исследуемого профиля. Продолжительность записи в каждом пункте профиля должна быть не менее 1.5 часов [1]. При этом синхронизация записей по времени не является принципиально важным моментом.

Метод H/V основан на том, что резонансная частота микросейсмического поля зависит от глубины залегания контрастной горизонтальной границы в исследуемой среде и скорости поперечных волн в покрывающем слое [4]. Таким образом, данный метод позволяет выявлять форму контрастных горизонтальных скоростных границ в среде (например, кристаллический фундамент), а при наличии информации о скорост-

ных свойствах покрывающей толщи, рассчитывать глубину ее залегания. В отличие от ММЗ в данном методе нет необходимости в передвижной станции. Однако важным условием является наличие трехкомпонентной записи. Необходимое время накопления сигнала, как и в ММЗ, составляет от 1.5 часов. Таким образом, реализация комплексного применения ММЗ и H/V, обеспечивается одновременной регистрацией опорной и передвижными станциями, при этом передвижная станция должная регистрировать три компоненты микросейсм.

Существенной особенностью ММЗ, является зависимость результатов от дисперсионных свойств исследуемой среды. Преодолеть данное затруднение позволяет комплексное применение ММЗ и пассивной сейсмической интерферометрии. Данный метод позволяет восстановить эмпирическую функцию Грина исследуемой среды из микросейсмического шума [5]. Естественные микросейсмы представлены в основном поверхностными волнами. Это связано с тем, что поверхностные волны обладают большей энергией, чем объемные, и могут распространяться на большие расстояния. Следовательно, функция Грина, извлеченная из естественных микросейсм, состоит в основном только из поверхностно-волновой части. Таким образом, из эмпирических функций Грина можно получить дисперсионную кривую исследуемой среды. Основным требованием к системе наблюдения, при реализации метода пассивной сейсмической интерферометрии, является одновременная регистрация микросейсм как минимум двумя сейсмометрами с точной синхронизацией по времени. Функция Грина, извлеченная из записи сейсмического шума небольшой продолжительности (1.5-5 часов), содержит информацию не о действительных, а о кажущихся скоростях поверхностных волн. Это связано с тем, что за короткий промежуток времени источники микросейсм, как правило, не меняются. Следовательно, система наблюдений должна обеспечивать возможность определения азимутов на источники микросейсм.

Важным моментом при выборе системы наблюдений является расстояние между пунктами замеров микросейсм. При реализации методов ММЗ и H/V допустимое расстояние между пунктами замеров составляет 5% от длины волны. Необходимым условием для извлечения дисперсионной кривой функции Грина методом многоканального анализа поверхностных волн (MASW) является длина профиля, которая должна быть больше максимальной длинны волны получаемого сигнала.

Таким образом, при комплексном применении всех вышеперечисленных методов необходима система наблюдений в виде профиля, состоящая из трехкомпонентных сейсмометров с синхронизацией по времени. Опорная станция, в данном случае, должна быть установлена в начале профиля. Для определения азимутов на источники необходимо использовать три опорных стации, образующие треугольник. В районах с сильным антропогенным сейсмическим шумом, для определения азимутов на источники целесообразнее использовать метод поворота горизонтальных компонент записей шума (H/V rotate). В данных условиях, система наблюдений упрощается и представляет собой профиль с одной опорной станцией.

В качестве тестовых объектов исследования были выбраны трубки взрыва «Пионерская» и «Поморская» месторождения им. М.В Ломоносова. Выбор объектов обусловлен тем, что строение трубок хорошо изучено различными геолого-геофизическими методами. В то же время, местоположение данных объектов характеризуется наличием различных источников сейсмического шума. Трубка «Пионерская» расположена в непосредственной близости к разрабатываемому карьеру, следовательно, основным источником сейсмического шума в данном районе является карьер. Трубка «Поморская» расположена в районе с отсутствием явных источников сейсмического шума. Исходя из данных условий, были построены системы наблюдений на исследуемых объектах.

При проведении исследований на трубке «Пионерская», измерения микросейсм производились вдоль двух профилей, направленных с юга на север (пункты 1-22) и с запада на восток (пункты 23-26) с шагом 50 м (рис. 1). Время регистрации в каждом пункте составляло 2 часа. Опорная станция находилась в точке пересечения профилей. Расчет азимутов на источники методом «H/V rotate», подтвердил первоначальное предположение о том, что основным источником шума является карьер.

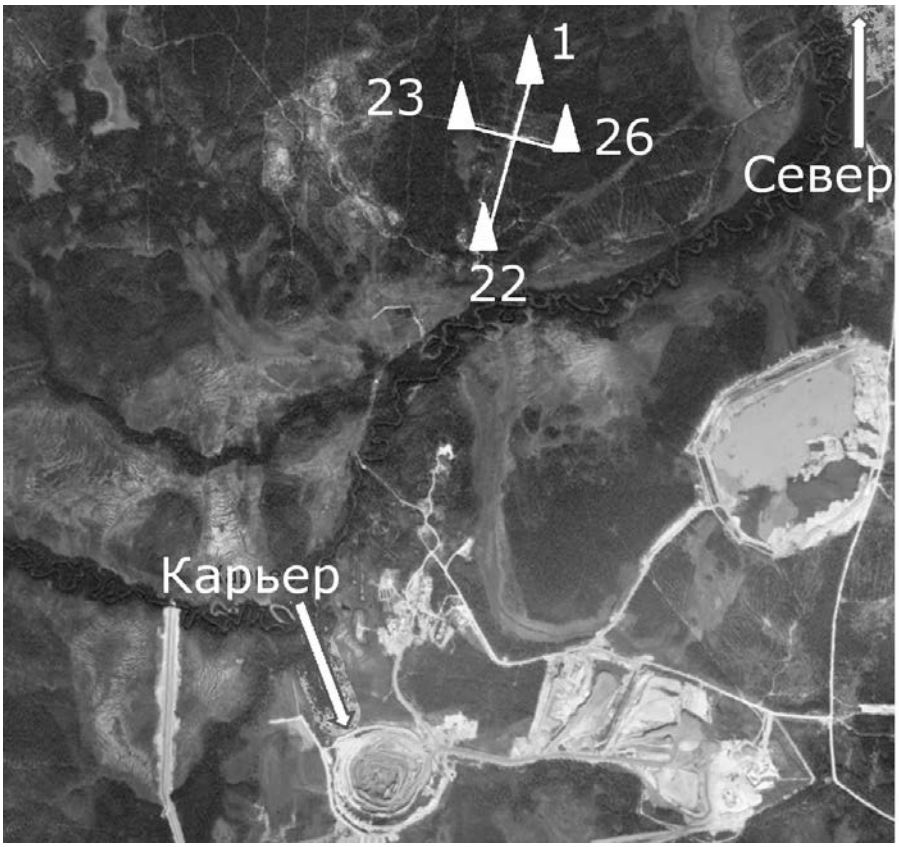


Рис. 1. Система наблюдений при проведении исследований на объекте «трубка Пионерская» месторождения им. М.В. Ломоносова

Система наблюдений при проведении исследований на трубке «Поморская» представлена на рисунке 2. Выбор такой системы обусловлен отсутствием явных источников сейсмического шума.

При проведении исследований на трубке «Поморская», измерения проводились вдоль одного профиля (пункты 2-32) с шагом 30 м (рис. 2). Продолжительность записи в каждом пункте составляла 2 часа. Опорные станции, установленные в виде треугольника, записывали микросейсмы на протяжении всего эксперимента. С помощью процедуры «beamforming», рассчитывались азимуты на источники для каждого интервала измерений. На основе полученных азимутов, вносились поправки в скорости, рассчитанные в результате дисперсионного анализа функций Грина.

Рис. 2. Система наблюдений при проведении исследований на объекте «трубка Поморская» месторождения им. М.В. Ломоносова

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили сформулировать основные требования к системам наблюдений при комплексном применении пассивных сейсмических методов изучения верхней части земной коры. При проведении измерений в районах с наличием явных источников сейсмического шума, азимуты на источник можно определять методом «H/V rotate» и использовать линейную систему наблюдений с опорной станцией в начале профиля. В районах с отсутствием явных источников шума необходимо определять азимуты на источник при помощи процедуры «beamforming». Для этого система наблюдений строится в виде треугольника, состоящего из опорных станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатиков А.В. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование с помощью микросейсм / Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. // Физика Земли. 2008. № 7. С. 66-84.
2. Aki K. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth’s crust / K. Aki // Geophysics. – 1965. – Т. 30. – №. 4. – С. 665-666.
3. Ibs-von Seht M. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments / M. Ibs-von Seht, J. Wohlenberg // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1999. – Т. 89. – №. 1. – С. 250-259.
4. Nakamura Y. A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface / Y. Nakamura // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 1989. V.30. №1. pp. 25-33.11.

5. Wapenaar K. Tutorial on seismic interferometry: Part 1 - Basic principles and applications: Geophysics, 75 / K. Wapenaar [et al.] // September–October, 75A195–75A209, http://dx. doi. org/10.1190/1.3457445. – 2010.

SYSTEMS OBSERVATION FEATURES AT COMPLEX APPLICATION OF PASSIVE SEISMIC METHODS OF STUDYING UPPERMOST CRUST STRUCTURE

Nikita Afonin, Konstantin Danilov
FCIARctic RAS, Arkhangelsk
afoninnikita@inbox.ru, danilov_kostea@mail.ru

Abstract. Bases quality of combined application results of passive seismic methods is optimization of systems observation. Different passive seismic methods allow to determine different information about structure and properties of investigated environment. Consequently, each method has its own requirements for systems observation. This article presents results of experimental studies aimed to selection of optimal systems observation for study of the upper crust.
Key words: microseisms, passive seismic method, systems of observation

УДК 550.832

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В РУДНЫХ СКВАЖИНАХ

Баженова Евгения Анатольевна, Федосов Максим Андреевич
ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург
bazenova_jena@mail.ru, fedosov-maksimil@mail.ru

Аннотация. В статье приведены некоторые результаты комплексирования различных методов геофизических исследований в рудных скважинах. Показана эффективность применения каротажа геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения для получения большего объема информации в комплексе с другими методами при изучении как литологического разреза скважин, так и для оценки геодинамической обстановки исследуемых объектов.
Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, электромагнитное излучение, каротаж рудных скважин

Стандартные методы геофизических исследований скважин на рудных месторождениях направлены в основном на исследование дифференциации пород по литологическому признаку. Тогда как изучению зон трещиноватости и нарушенности пород отводится второстепенное место. Главенствующую роль данные исследования занимают на нефтегазовых скважинах при исследовании коллекторов различного типа. Но изучение зон трещиноватости в рудных скважинах тоже является актуальной задачей, так как эти участки могут быть связаны с обрушением ствола скважины и затруднять проведение исследований. На оценку трещиноватости направлены специальные исследования керна, кавернометрия, волновой акустический каротаж, скважинная электроразведка и т.д. Но данные методы позволяют судить лишь об образовавшихся зонах

трещиноватости и нарушенности ствола скважины, и они не позволяют оценивать активность процессов трещинообразования в этих зонах, а так же их динамику.

На основе изучения пространственного и временного распределения амплитудно-частотных характеристик геоакустических сигналов (ГАС), генерируемых микровибрациями геосреды, а также электромагнитных сигналов, вызванных образованием и развитием трещин в горных породах, в Институте геофизики Уральского отделения Российской академии наук был разработан аппаратурно-программный комплекс МЭШ-42 [1], позволяющий осуществлять одновременную регистрацию сигналов ГАЭ и ЭМИ. Регистрация сигналов электромагнитного излучения производится в трех частотных диапазонах: 45 (F1), 80 (F2) и 120 (F3) кГц. Геоакустические сигналы регистрируются тремя ортогонально расположенными датчиками-акселерометрами (X, Y, – горизонтальные датчики, Z – вертикальный датчик) в разных полосах частот (100-500 Гц, 500-5000 Гц, 2500-5000 Гц) в единицах регистрируемого ускорения мм/с^2. Геоакустические сигналы, измеряемые горизонтальными датчиками, программным способом преобразуются в горизонтальные составляющие геоакустических сигналов H, для каждого диапазона частот: H1, H2, H4, соответственно [2].

На рисунке 1 представлены результаты исследования в одной из скважин на Ломоносовском железорудном месторождении. По геологическим данным скважина представлена преимущественно метасоматитами различного состава (альбитовые метасоматиты, эпидотовые и т.д.). Так же присутствуют пироксеновые скарны и порфириты. Во многих участках скважины имеются зоны сульфидной минерализации и гематизации. На глубине 240-300 м имеются пропластки магнетитовой руды различной мощности.

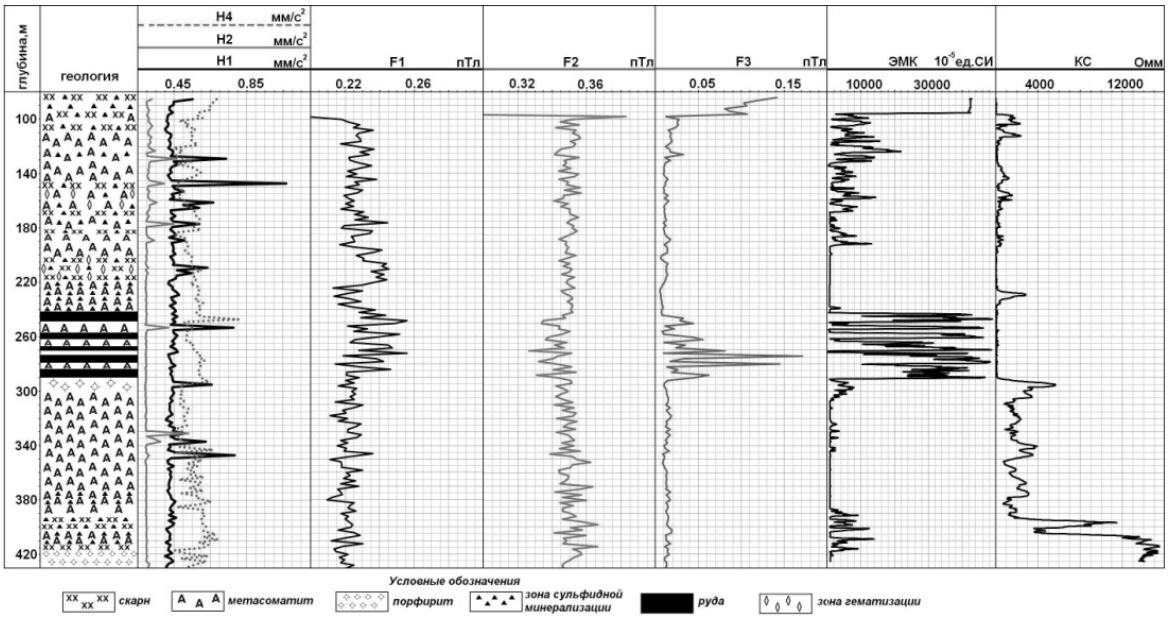


Рис. 1. Результаты исследований в одной из скважин Ломоносовского железорудного месторождения (данные ЭМК и КС предоставлены сотрудниками Кустанайской геологосъемочной экспедиции)

По результатам скважинных исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения было установлено следующее: аномальный уровень сигналов ГАЭ приурочен к зонам трещиноватости, обусловленных контактами пород. В интервале от 100 м до 200 м наблюдается переслаивание скарнов и метасоматитов, что в свою очередь сказывается на амплитудных уровнях ГАЭ. Так, например, на глубине 145 м аномалия по двум частотным диапазонам геоакустических сигналов (100-500 и

2500-5000 Гц) вызвана контактом альбитового метасоматита и пироксенового скарна. Аномальными значениями сигналов геоакустической эмиссии выделяются участки контактов руды и метасоматитов. Наличие рудных участков подтверждается результатами метода кажущихся сопротивлений и электромагнитного каротажа. По сигналам электромагнитного излучения на всех частотных диапазонах выделяется участок переслаивания руды и метасоматитов. Причем на частоте 120 кГц в этом интервале происходит увеличение сигналов в положительную область, а на частоте 80 кГц в отрицательную. Кривую F1 условно можно разделить на три участка: первый – 100-240 м - представлен чередованием метасоматитов различного состава и скарнов, в этом интервале наблюдается сульфидная минерализация, а так же два участка с зоной гематизации. Этот участок выделяется повышенными фоновыми значениями сигналов ЭМИ с небольшими локальными аномалиями. Второй участок - 240-290 м - представлен чередованием руда-вмещающая порода и интенсивной сульфидной минерализацией. Кривая F1 имеет аномальный уровень на всем участке, резкое увеличение сигналов происходит на контакте эпидотового метасоматита и руды. Третий участок кривой F1 начинается от 290 м и до забоя скважины, общий фоновый уровень сигналов значительно снижается относительно верхнего интервала. Этот участок представлен преимущественно метасоматитами, с редкими слоями скарнов и порфиритов, сульфидная минерализация практически отсутствует.

На рисунке 2 приведены результаты комплексных исследований сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения скважины №1 в поселке Верхняя Сысерть (скважина, расположенная на территории учебно-методической базы Уральского государственного горного университета). В этой скважине проводились измерения в течение двух лет.

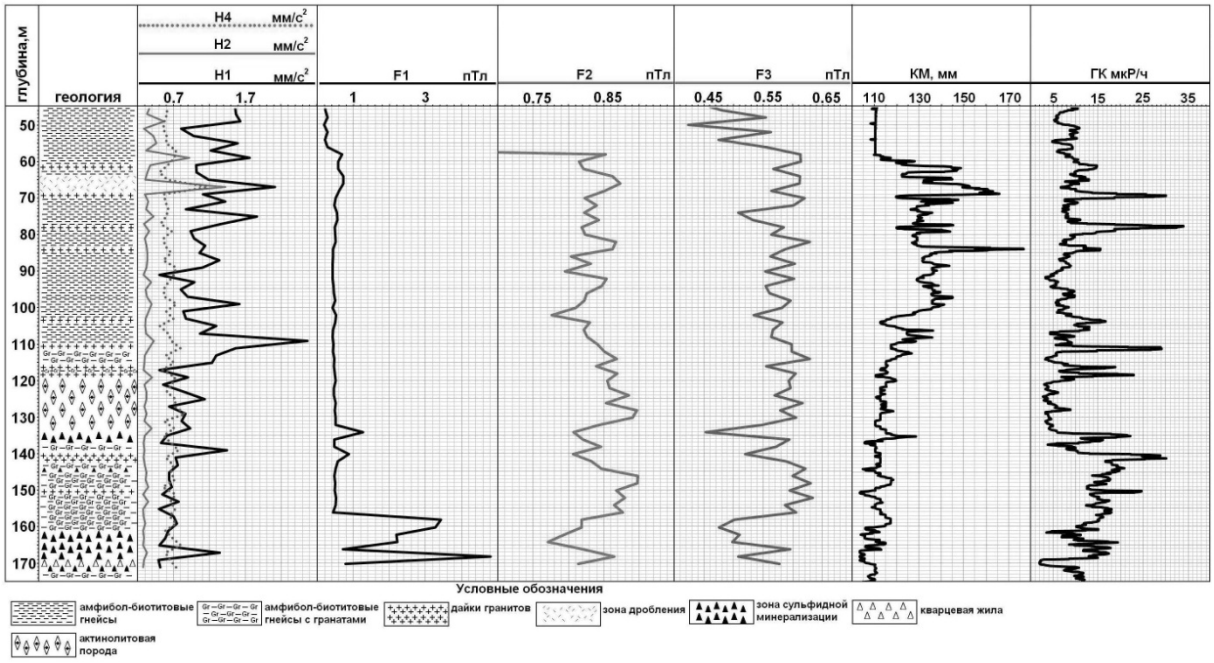


Рис. 2. Результаты исследований в скважине Верхней Сысерти, 2012 год (данные КМ и ГК предоставлены сотрудниками кафедры геофизики Уральского государственного горного университета)

На рисунке представлены результаты первой серии измерений. Как видно из графиков, кривую H1 (100-500 Гц) можно разделить на два участка. Первый участок расположен на глубине от 45 до 117 м, всему интервалу присущ аномальный уровень

сигналов геоакустической эмиссии. При сопоставлении с диаграммой кавернометрии, наблюдается пространственное совпадение аномалии ГАЭ с нарушением диаметра ствола скважины. То есть, можно предположить, что в этой части скважины идут интенсивные процессы трещинообразования, которые и являются источником аномальных значений сигналов ГАЭ. Второй участок по кривой H1 отмечается резким снижением общего уровня сигналов. На глубинах 139 и 167 м небольшими локальными аномалиями отмечаются контакты амфибол-биотитовых гнейсов с гранатами и даек гранитов, а так же сульфидной минерализации с кварцевой жилой, соответственно. По кривым ЭМИ на разных частотных диапазонах так же отбиваются контакты пород с различными физико-механическими свойствами. Так, по параметру F1 отмечается контакт актинолитовой породы и сульфидной минерализации на глубине 135 м, самая мощная зона расположена вблизи забоя скважины, там же расположен участок сульфидной минерализации, контактирующий с амфибол-биотитовыми гнейсами и кварцевой жилы. По кривым F2 и F3 описанные выше участки отмечаются отрицательными аномалиями. Таким образом, по результатам комплексных исследований были выделены несколько участков, в которых идут активные процессы трещинообразования.

Через год измерения в Сысертской скважине были повторены с целью изучения динамики нарушенных зон, выявленных ранее. Для получения большей информации о природе зафиксированных аномалий были проведены температурные исследования в скважине. Измерения температуры были выполнены сотрудниками лаборатории геодинамики Института геофизики Козловой И.А. и Антипиным А.Н. Полученные результаты комплексных исследований приведены на рисунке 3.

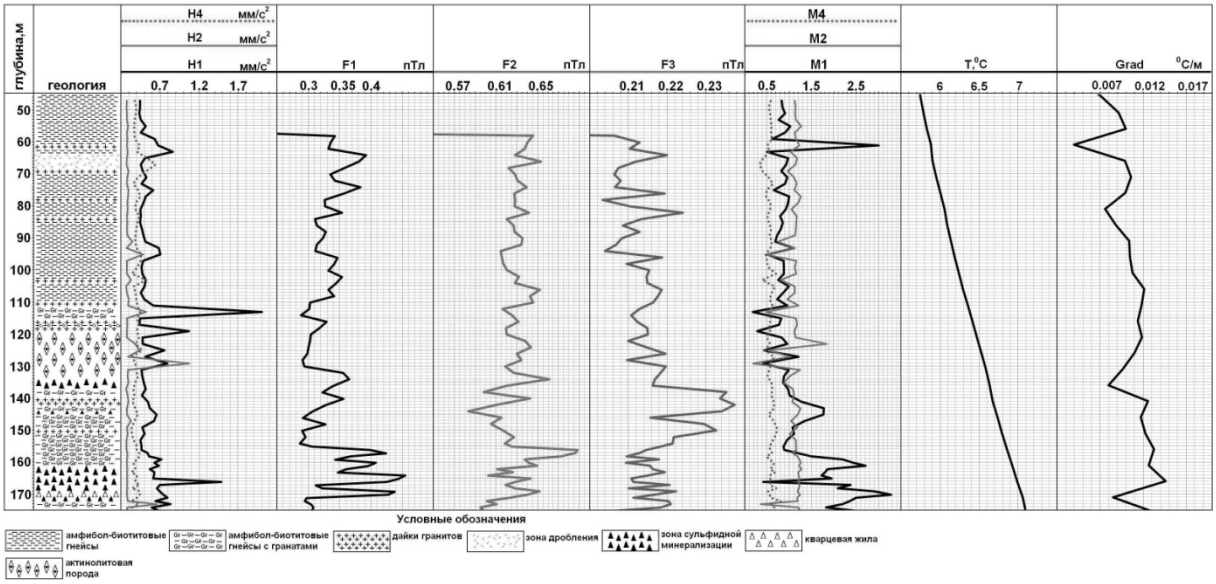


Рис. 3. Результаты исследований в скважине Верхней Сысерти, 2013 год (данные по температуре предоставлены сотрудниками лаборатории геодинамики Института геофизики УрО РАН)

Как видно из графиков сигналов ГАЭ (параметр H1-H4), аномальными значениями отмечаются два интервала скважины. Первый соответствует переслаиванию даек гранитов, амфибол-биотитовых гнейсов с гранатами и актинолитовой породы, второй приурочен к нижней части скважины и представлен амфибол-биотитовыми гнейсами с гранатами, зоной сульфидной минерализации и кварцевой жилой. По параметрам ЭМИ так же выделяются зоны с аномальными значениями сигналов электромагнитного излучения. Так, на частоте 45 кГц в нижней части скважины отмечается участок 155-

170 м охватывающий контакт амфибол-биотитовых гнейсов с гранатами и зоны сульфидной минерализации. При сравнении результатов исследований за два года, видно, что данный участок скважины является весьма активным и аномалии сигналов, как геоакустической эмиссии, так и электромагнитного излучения устойчивы во времени. По кривой F3 можно отметить интервал 136-153 м пространственно совпадающий с переслаиванием гранитов, зоны сульфидной минерализации и амфибол-биотитовых гнейсов с гранатами. При сопоставлении результатов исследования сигналов ГАЭ и ЭМИ с температурными измерениями были выявлены два участка скважины с возможным притоком воды. Первый находится на глубине 61 м, второй на 170 м. Эти зоны выделяется по расчетному параметру ГАЭ M1 на частоте 100-500 Гц (отношение сигналов с двух горизонтальных датчиков, данный параметр позволяет выявлять участки движения флюида) и по градиенту температуры. Так же по температурным данным выделяются две зоны, скорей всего связанные с изменением теплопроводности пород, первая зона находится на глубине 81 м и приурочена к амфибол-биотитовым гнейсам, вторая пространственно совпадает с участком сульфидной минерализации и находится на 136 м.

Таким образом, включение методов ГАЭ (геоакустическая эмиссия) и ЭМИ (электромагнитное излучение) в стандартный комплекс геофизических исследований при проведении работ на рудных скважинах является целесообразным, так как позволяет получать гораздо больший объем информации не только о строении скважины, но и о происходящих в ней геодинамических процессах. Что в свою очередь, дает возможность не только оценивать их на качественном уровне, но и следить за этими процессами во времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – 16-35-00254.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г. Аппаратурно-программный комплекс для скважинных исследований напряженно-деформированного состояния среды / Ю.Г. Астраханцев [и др.] // НТВ Каротажник, №5 (239), 2014. С. 39-51.
2. Белоглазова Н.А. Оптимизация комплекса информативных параметров геоакустических шумов при решении задач в нефтегазовых скважинах / Н.А. Белоглазова, А.К. Троянов // Материалы XIII сессии Российского акустического общества. – М., 2003. С. 57-60.

INTEGRATION RESULTS OF GEOPHYSICAL METHODS IN ORE BOREHOLES

Evgenia A. Bazhenova, Maksim A. Fedosov
IGF UB RAS, Ekaterinburg
bazenova_jena@mail.ru, fedosov-maksimil@mail.ru

Abstract. The article presents some integration results of various methods of geophysical investigations in ore wells. Efficiency of using log of geoacoustic emission and electromagnetic radiation to produce larger volume of information in combination with other methods when studying lithological profile of wells, and to assess geodynamic setting of investigated objects is shown.
Key words: geoacoustic emission, electromagnetic radiation, ore well log

УДК 550.837

РЕЗУЛЬТАТ ОДНОМЕРНОЙ И ТРЕХМЕРНОЙ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ В ПРЕДЕЛАХ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Белов Владимир Александрович[1,2], Айкашева Надежда Александровна[1,2], Демин Андрей Алексеевич[2], Фаустова Анастасия Юрьевна[1], Давыденко Юрий Александрович[1,2,3]
[1]ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск
[2]ООО «Гелиос», г. Иркутск
[3]ИЗК СО РАН, г. Иркутск
belov-1992@yandex.ru

Аннотация. По оценкам экспертов Россия в недалеком будущем полностью лишится разведанных запасов урана, в связи с чем имеется острая необходимость в доразведке известных месторождений урана и в поиске и разведке новых. В работе показан результат применения импульсной электроразведки с заземленными источниками и приемниками на эталонных объектах Стрельцовского рудного поля. Показано, что аномалии поляризуемости, найденные в результате инверсии данных электромагнитных зондирований, выполненной в рамках модели с частотной дисперсией электропроводности, соответствует ореолам известных месторождений.

Ключевые слова: импульсная электроразведка, трехмерное моделирование, поляризуемость, уран, электромагнитное поле

Исследования Приаргунья на предмет месторождений урана и полиметаллов проводились с середины прошлого века. Выполнялись аэро- и наземные методы поисков, в результате которых было выявлено множество рудопроявлений, объединённых в Стрельцовское рудное поле общей площадью 120 км². Следует отметить, что все эти месторождения не выходят на дневную поверхность, что осложняет поисково-разведочные работы.

Осенью 2014 г. сотрудниками лаборатории комплексирования геофизических методов поиска ИРНИТУ были проведены полевые работы на Стрельцовском рудном поле в 12 км от г. Краснокаменск. В виду большой индустриализации района (ЛЭП, железнодорожные пути, работающие горные выработки и пр.), участок работ характеризуется высоким уровнем промышленных помех. Целью работ являлась оценка эффективности применения метода ЭМЗ-ВП в общем комплексе поисково-разведочных работ.

Технология ЭМЗ-ВП [2] идеологически близка к дифференциально-нормированному методу электроразведки (ДНМЭ), успешно применяемому для поисков месторождений углеводородов. Использование полной формы кривой становления поля горизонтального электрического диполя позволяет перейти от кажущихся параметров ($\rho_к$, и $\eta_к$) к инверсии в рамках одномерных и трехмерных поляризующихся моделей.

Одномерная инверсия данных электромагнитных зондирований выполнялась в программном комплексе «Mars 1D», с учетом частотной дисперсии удельного электрического сопротивления (УЭС), описываемой формулой Cole-Cole [5, 6]:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left\{1 - \eta \left[1 - \frac{1}{1+(i\omega\tau)^c}\right]\right\}, \quad (1)$$

где ω - частота, i - мнимая единица, ρ - удельное электрическое сопротивление, ρ_0 - сопротивление на постоянном токе, η - коэффициент поляризуемости $0 \le \eta \le 1$, τ - время релаксации и c - показатель степени $0 \le c \le 1$.

При создании опорной модели использовались результаты одномерной инверсии данных съемки МПП, выполненной по тем же профилям сотрудниками ФГУГП «Урангео». Кроме того, при моделировании учитывалось большое количество фактических данных о геологическом строении участка, полученных по результатам бурения и гравиразведки. В первую очередь, принималось во внимание характерное для Стрельцовского рудного поля разделение на верхний и нижний структурные этажи и фундамент.
На рисунке 1 показан результат инверсии данных ЭМЗ-ВП по двум параметрам: УЭС и поляризуемости. На разрезы были нанесены контуры рудных тел, определенные по карте рудоносности. Положение рудных тел по глубине было скорректировано по результатам бурения после того, как был представлен первый вариант инверсии. Большинство выявленных ураново-рудных объектов тяготеют к границе верхнего и нижнего структурных этажей на глубинах порядка ста метров.

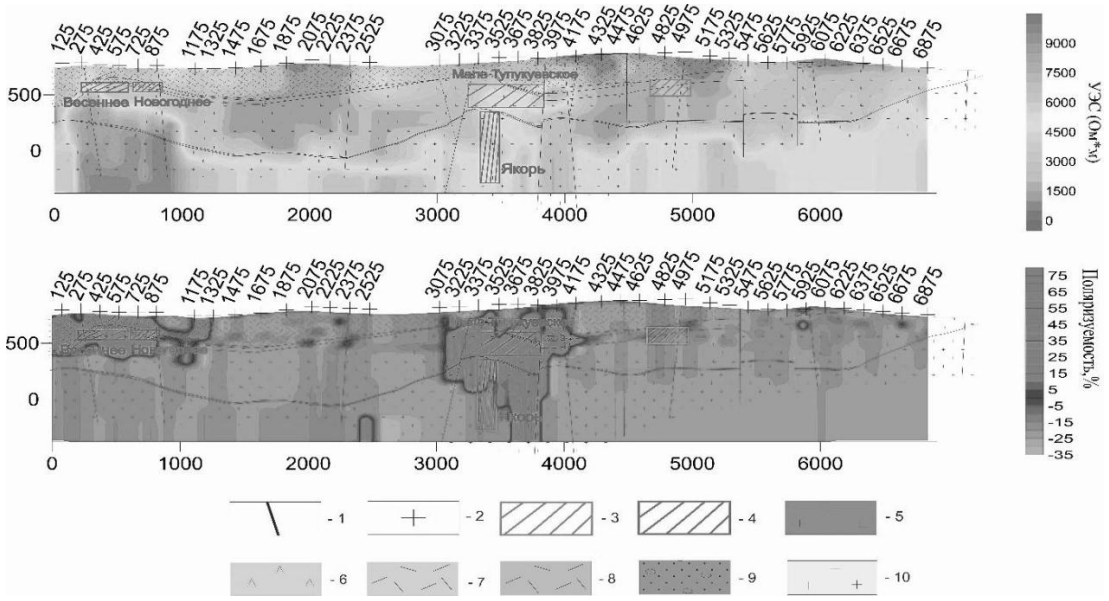


Рис. 1. Разрез по УЭС и поляризуемости по эталонному профилю. 1 - тектонические разломы, 2 - пикеты, 3 - рудная залежь, 4 - урановая рудная залежь, 5 - базальты, андезито-базальты, 6 - риодациты, 7 - порфировые (липариты), 8 - микрофельзитовые (фельзиты), 9 - базальные конгломераты, гравелиты, песчаники, 10 - биотитовые граниты

На разрезе параметра поляризуемости месторождения «Якорь» и «Мало-Тулукуевское» совпадают с зоной высоких значений, также эта зона проявляется и более высокими значениями времени релаксации. Показатель поляризуемости, который в массивах эффузивных и подстилающих гранитоидных пород, определенных по методу сопротивлений, позволяет надежно выявить именно высоко минерализованные области. Возможно, это связано с тем, что урановая минерализация на месторождениях Стрельцовской кальдеры находится в ассоциации с молибденитом, вкрапленным сульфидным оруденением: пиритом, магнетитом и другими хорошо поляризующимися минералами. По данным МПП вся эта область выглядит единым массивом с высокими значениями УЭС множественными аномалиями поляризуемости.

Распределение УЭС, полученное в результате одномерной инверсии данных ЭМЗ-ВП, позволяет выявлять литологические границы, а повсеместно распространен-

ные на исследуемой территории тектонические нарушения отражаются в виде субвертикальных зон. Так, для эталонного профиля отчетливо прослеживаются пересечение Мало-Тулукуевской разломной зоны с разломной зоной северо-западного простирания, к которой приурочен ряд рудных тел, отмеченных предшественниками.

После одномерного подбора было выполнено трехмерное моделирование данных ЭМЗ-ВП в программном комплексе ITEM-IP. Первоначальная модель представляет собой набор горизонтальных слоев с фоновыми значениями. Эти слои характеризуют представление о параметрах вмещающей среды исследуемого участка. При дальнейшем моделировании, в созданную среду прописываются макрообъекты с заданными в них параметрами УЭС, поляризуемости и времени релаксации, полученными в результате одномерной инверсии. Приемные и питающие линии задаются, исходя из их реальных координат, путем пересчета (рис. 2).

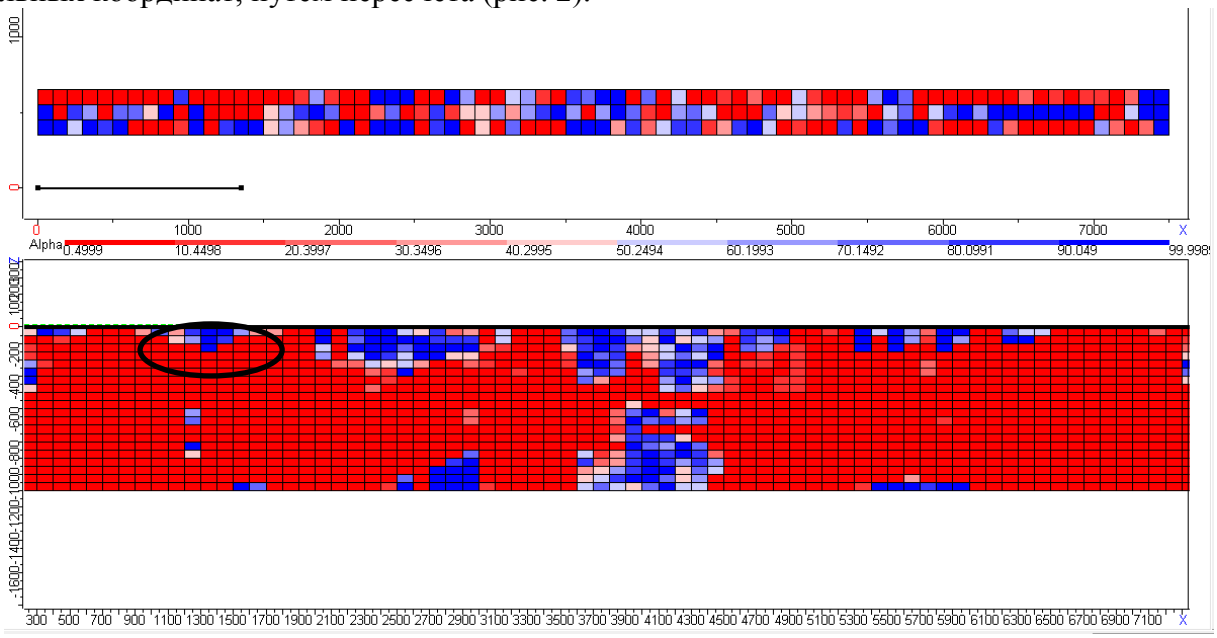


Рис. 2. Трехмерная модель в проекциях на оси XY и XZ

Трехмерная инверсия позволила подтвердить эффективность технологии импульсной электроразведки с заземленной линией. При сопоставлении результатов моделирования с данными бурения выяснилось, что ураново-рудные месторождения «Весеннее» и «Новогоднее» выделяются на глубине порядка 80-100 м и выделяются овалом, что соответствует реальному положению объектов (рис. 2, 3). В центре профиля четко выделяется месторождение «Якорь».

На данном материале иллюстрируется высокая эффективность применения технологии ЭМЗ-ВП при поиске полиметаллических и урановых руд. Такого эффекта удалось добиться за счет использования алгоритмов одномерного и трехмерного подбора кривых зондирований в рамках поляризующейся модели.

На рисунке представлен результат трехмерной инверсии (рис. 3). Благодаря тому, что подбор осуществляется на некоторой совокупности точек, удается добиться более точного подбора кривых зондирований. В данном случае расчеты 3D с высокой точностью сходятся результатами одномерной инверсии.

Далее необходимо провести комплекс лабораторных исследований керна и измерений ЭМЗ-ВП, выполненных в условиях естественного залегания рудных тел, с целью обоснования связи полученных поляризационных характеристик с урановым оруденением.

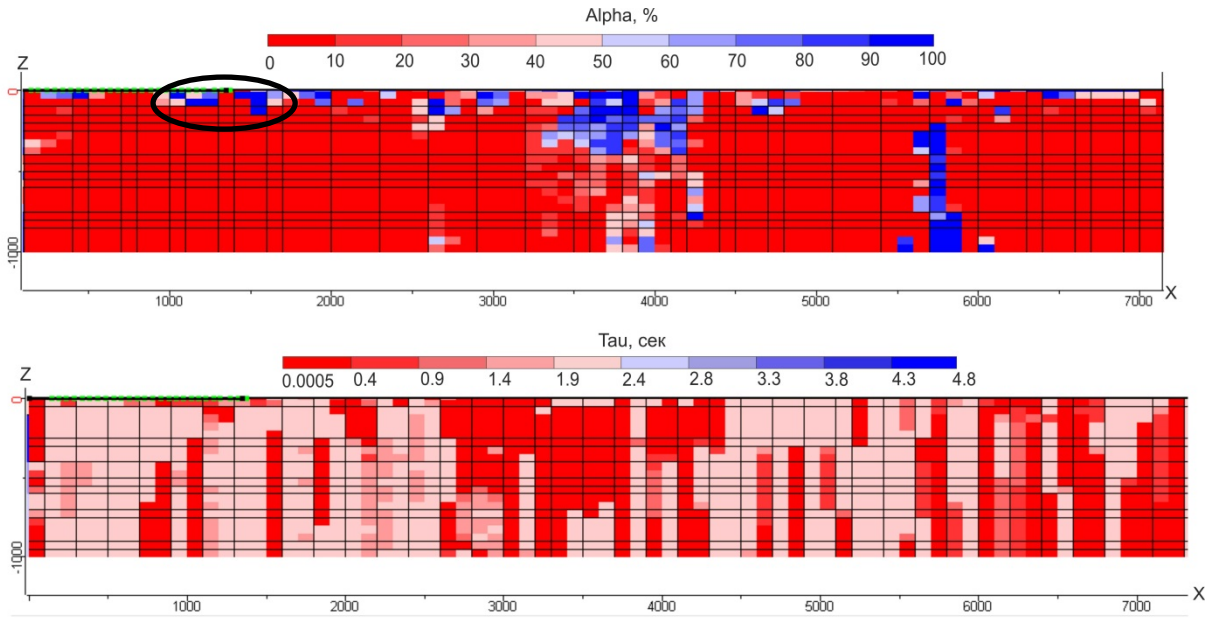


Рис. 3. Срезы рассчитанной модели по оси Y = 500 м для параметров поляризуемости и времени релаксации

Авторы выражают особую благодарность профессору кафедры прикладной математики НГТУ, д.т.н. Персовой Марине Геннадьевне за оказанную помощь при выполнении трехмерной инверсии данных импульсных электромагнитных зондирований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыденко Ю.А. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока / Ю.А. Давыденко // Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник научных материалов, Пермь, 18-22 марта 2013. ГИ УрО РАН, 2013. С. 74-83.
2. Патент на изобретение № 2574861, RU 2012134345/28 «Способ измерения и обработки переходных процессов с заземлённой линией при импульсном возбуждении электрическом диполем с целью построения геоэлектрических разрезов и устройство для осуществления этого способа с помощью аппаратно-программного электроразведочного комплекса (АПЭК «МАРС»)». Авторы изобретения: Давыденко Ю.А., Давыденко А.Ю., Пестерев И.Ю., Яковлев С.В., Давыденко М.А., Комягин А.В., Шимянский Д.М. Приоритет изобретения от 1 августа 2012 г., Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 февраля 2016 г., Правообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Версофт».
3. Ищукова Л.И. Геология Урулюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля (монография) / Л.И. Ищукова. пос.Октябрьский-г.Иркутск-Москва, 1995-1996.
4. Хампель Ф. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния / Ф. Хампель [и др.]. – М.: Мир, 1989.
5. Cole K.S. Dispersion and absorption in dielectrics / K.S. Cole, R.H. Cole // J. Chem. Phys. – 1941. –v.6. – P. 341-353.
6. Крылов С.С. Геоэлектрика: Поля искусственных источников: Учеб. пособие /

С.С. Крылов. – СПб.: Издательство С-Петербургского университета, 2004. – 138 с. ISBN 5-288-03664-0.
7. Kozhevnikov N.O. Inversion of TEM data affected by fast-decaying induced polarization: Numerical simulation experiment with homogeneous half-space / N.O. Kozhevnikov, E.Yu. Antonov // Journal of Applied Geophysics. 2008. V 66. P 31–43.
8. Соловейчик Ю.Г. Конечноэлементное моделирование электрического и магнитного полей вызванной поляризации в трехмерной среде / Ю.Г. Соловейчик [и др.] // Сиб. журн. индустр. матем. 14:3 (2011). С. 112–124.

ONE- AND THREE-DIMENSIONAL INVERSION RESULTS OF PULSE ELECTRIC EXPLORATION DATA WITHIN STRELTSOVSKOYE ORE FIELD

Vladimir A. Belov [1,2], Nadezhda A. Akasheva[1,2], Andrey A. Demin[2]
Anastasia Yu. Faustova[1], Yuriy A. Davydenko[1,2,3]
[1]FSBEI of Higher Education «INRTU», Irkutsk
[2]LLC «Gelios», Irkutsk
[3]Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk
belov-1992@yandex.ru

Abstract. According to experts in the near future Russia would be entirely short of uranium explored reserves. There is exigence thereby for known deposits in-mine exploration and prospecting of new ones. The paper shows applying results of impulse electrical methods with grounded sources and receivers on Streltsovskoe ore field reference objects. It is shown that metal factor anomaly resulting from inversion of electromagnetic sounding data run in the model with frequency dispersion of conductivity corresponds to known deposits areolas.
Keywords: impulse electrical methods, 3D modeling, polarizability, uranium, electromagnetic field

УДК 550.834

НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Бобров Валерий Юрьевич
ГИ УрО РАН, г. Пермь
bvy1692@gmail.com

Аннотация. Пространственная сейсморазведка (3D) широко применяется для решения разнообразных задач нефтегазовой геологии. Технологии 3D-сейсморазведки обладают высокой пространственной разрешающей способностью, что позволяет детально изучать строение геологической среды. В данной статье оценивается целесообразность применения пространственной технологии сейсморазведки для интервала малых глубин.
Ключевые слова: инженерная сейсморазведка 2D, 3D, проблемы адаптации

На сегодняшний день пространственная сейсморазведка – один из самых развитых геофизических методов при поисках и разведке углеводородов. Известными преимуществами являются: полно- или широко-азимутальные наблюдения, высокое отношение сигнал/помеха, пространственная разрешенность, достаточные для отображения малоамплитудных неоднородностей [2, 3, 4, 7]. Несмотря на это, опыт ее использования при инженерных исследованиях невелик. К основным задачам инженерной сейсморазведки относятся контроль свойств и состояния приповерхностных отложений, а также достоверный прогноз техногенных неоднородностей в верхней части разреза (ВЧР). Возможно и изучение физико-механических свойств пород [5]. Для перечисленных задач и направлений исследований вполне хватало известных модификаций и профильной сейсморазведки с применением отраженных и преломленных волн [1]. Вместе с тем, возможно, для каких-то особо ответственных объектов с резкой изменчивостью структурно-физических параметров существует необходимость применения и пространственных систем регистрации.

Первые попытки адаптации 3D-сейсморазведки под инженерные задачи известны еще в прошлом веке за рубежом (н-р, Birkelo et al., 1987; Hunter et al., 1989; Miller, Steeples, et al., 1989) [6]. Проведенные работы носят эпизодический характер, и однозначной оценки о необходимости их проведения нет.

Необходимость проведения подобного рода работ для различных инженерно-геологических задач сомнительна. Выполнение инженерных сейсморазведочных исследований в пространственных модификациях на урбанизированных территориях крайне затруднительно. Профильная сейсморазведка в данном случае существенно мобильнее. Кроме того, существует проблема негативного влияния поверхностных волн – помех значительной интенсивности, обусловленная применением поверхностных источников упругих колебаний и особенностями строения ВЧР. В отличие от глубинной сейсморазведки, инженерная занимается изучением первых десятков метров. В интервале регистрации целевых отражений и присутствуют поверхностные волны-помехи. Создание пространственных систем повышенной кратности не решает данную проблему, в связи с хорошей устойчивостью волновых форм поверхностных помех, приходящих с различных направлений. Гораздо проще данная проблема выглядит при профильных наблюдениях за счет подбора шага пространственной дискретизации и ограничения длин расстановок.

В качестве примера реализации пространственных инженерных сейсморазведочных работ можно рассмотреть результаты, полученные в пределах одного из потенциально-опасных участков в районе ВКМКС (табл. 1). Основная задача – картирование возможных техногенных приповерхностных неоднородностей и пределов их распространения в верхней части разреза.

Таблица 1

Сейсмогеологическая модель ВЧР

Отражающий горизонт (ОГ)	Интервальная скорость, м/с	Глубина залегания, м
Земная поверхность		
ОГ песчаник	1200	15
ОГ глина	1400	33
ОГ известняк	2000	61
ОГ СМТ	3000	90

С учетом теоретических предпосылок рассчитаны параметры системы пространственной регистрации, адаптированные для конкретных сейсмологических условий (табл. 2).

Таблица 2

Параметры систем наблюдений 3D

Размер бина в направлении in-line (B_x), м	2
Размер бина в направлении cross-line (B_y), м	2
Шаг ПП, м	16
Шаг ПВ, м	16
Шаг ΔПП, м	2
Шаг ΔПВ, м	2
Число линий приема ($N_{ЛПП}$)	18
Число линий возбуждения ($N_{ЛПВ}$)	18
Максимально минимальный вынос ($maxX_{min}$), м	1
Максимальное удаление (Lmax), м	167
Общее количество сейсмограмм ОПВ	3705
Общее количество пунктов приема колебаний	4032
Средняя кратность	109

Основными результатом цифровой обработки сейсморазведочных данных 3D является куб сейсмических данных. На разрезах куба сейсмических данных (рис. 1) отмечается две наиболее динамически выраженные оси синфазности, которые соответствуют целевым сейсмическим отражающим горизонтам. Выделенные ОГ приурочены: к кровле глин (Гл*) в терригенно-карбонатной толще на глубине порядка 30 м от поверхности наблюдений и к кровле соляно-мергельной толщи (СМТ*) на глубине более 90 м (рис. 1).

В сейсморазведке МОВ вертикальную разрешающую способность принято рассчитывать на основе условия Вайдса как (1/4-1/8) длины волны [8]. Вертикальная разрешенность данной системы составила 4.5 м, что обеспечивает информативность в интервале от 20 до 180 м.

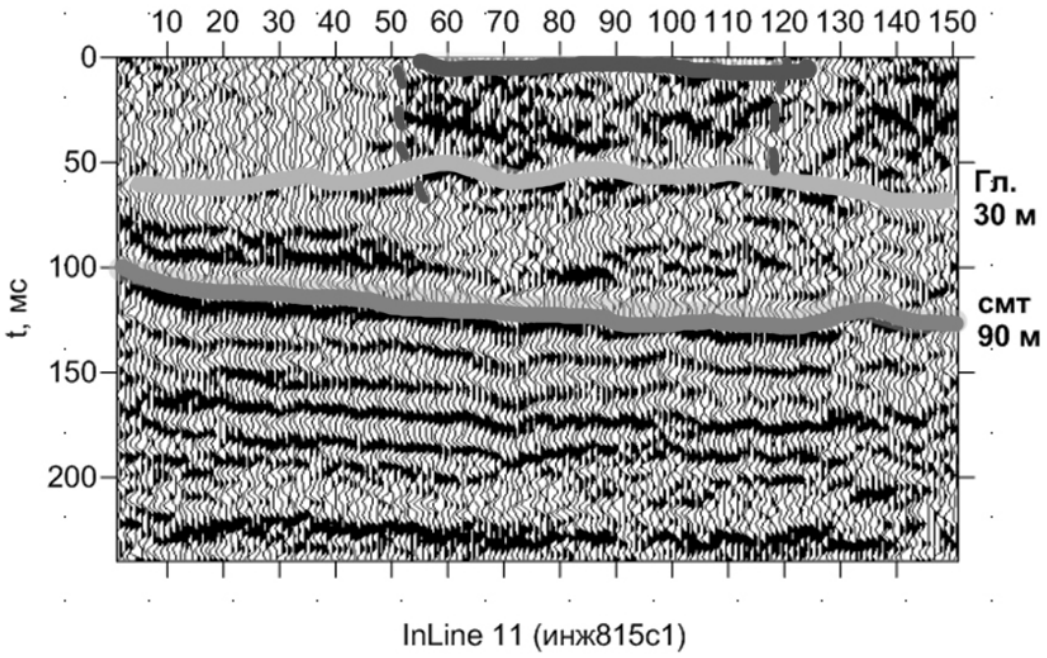


Рис. 1. Разрез куба сейсмических данных по профилю №11

На данной территории также проведены работы профильной сейсморазведкой. Она позволяет получать временные разрезы в интервале от 10 до 120 м и обеспечивать вертикальную разрешенность до 2.2 м. На временных разрезах, полученных в рамках инженерных исследований (рис. 2), отмечается ряд наиболее динамически выраженных осей синфазности, соответствующих целевым сейсмическим ОГ, приуроченным к кровлям песчаников (Пес*), глин (Гл*), известняка (Из*) и мергеля (СМТ*) в терригенно-карбонатной толще.

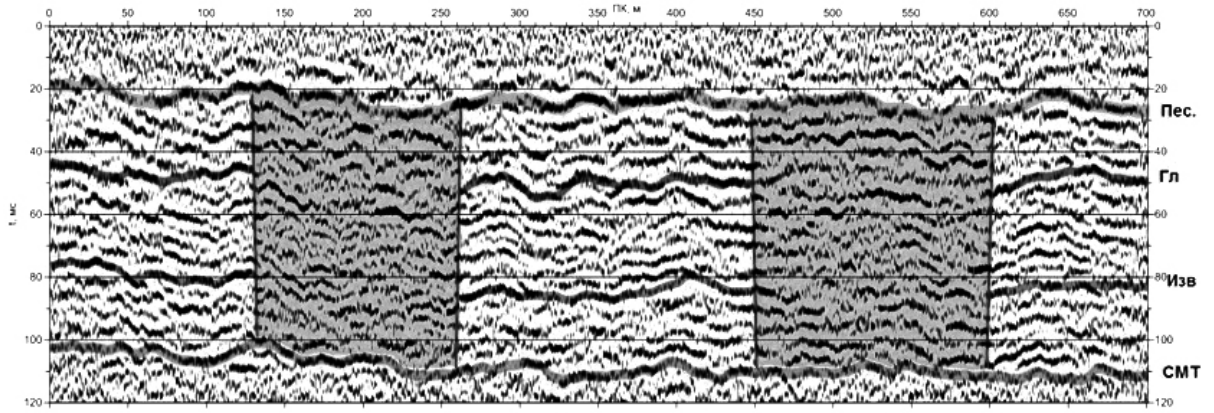


Рис. 2. Временной разрез по профилю №11

Очевидно, что в данном случае пространственные системы регистрации для картирования приповерхностных неоднородностей и расчленения инженерно-геологического разреза не являются необходимыми.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-45-590050-р_а-05.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярославцев А.Г. О перспективах малоглубинной сейсморазведки 3D на Верхнекамском месторождении солей / А.Г. Ярославцев [и др.] // Геофизика. 2015. № 5. С. 6-11.
2. Козлов Е.А. Лучше сейсмики 3D – только сейсмика 3D, хорошо спланированная / Е.А. Козлов [и др.] // Геофизика. №6, 1998.
3. Косянчук О.Н. Неоднозначность интерпретации данных сейсморазведки при дистанционном изучении структуры земной коры / О.Н. Косянчук // Молодой ученый. – 2012. – №1. Т.1. – С. 18-21.
4. Кузнецов В.И. Элементы объемной (3D) сейсморазведки: уч. пос. для студ. ВУЗов / В.И. Кузнецов. Тюмень: изд-во «Тюмень», 2004.
5. Основы геофизических методов: учебник для вузов / В.К. Хмелевской, В.И. Костицын.– Пермь: Перм. ун-т, 2010. – 400 с.
6. Ran Bachrach and Tapan Mukerji. Portable dense geophone array for shallow and very shallow 3D seismic reflection surveying—Part 1: Data acquisition, quality control, and processing / GEOPHYSICS, VOL. 69, NO. 6 (NOVEMBER-DECEMBER 2004); P. 1443–1455, 8 FIGS. 10.1190/1.1836818
7. Урупов А.К. Основы трехмерной сейсморазведки: уч. пос. для ВУЗов / А.К. Урупов. М.: ФГУП изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2004.
8. Спасский Б.А. Сейсмостратиграфия: учеб.-метод. пособие / Б.А. Спасский, И.Ю. Герасимова. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2007. – 245 с.: ил.

SPATIAL ENGINEERING SEISMIC SURVEY REQUIREMENT

Valeriy Yu. Bobrov
MI UB RAS, Perm
bvy1692@gmail.com

Abstract. Spatial seismic survey (3D) is widely used to solve various problems of petroleum geology. 3D seismic technology has a high spatial resolution that allows us to study structure of geological environment in detail. In this article expediency of spatial seismology technology for small depth interval is estimated.
Key words: engineering seismology 2D, 3D, adaptation problems

УДК 550.832

ВЫДЕЛЕНИЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ И ЖЕЛЕЗИСТО-КВАРЦИТОВЫХ РУД ПО СТВОЛУ СКВАЖИНЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Вдовин Алексей Геннадьевич
ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург
agvd@bk.ru

Аннотация. Приведены исследования электромагнитного излучения на железорудных месторождениях. Выявлена связь между исследованиями электромагнитного излучения и магнитной восприимчивостью горных пород в зонах оруденения.
Ключевые слова: электромагнитное излучение, железорудное месторождение, скважина, магнитная восприимчивость

Применение метода электромагнитного излучения (ЭМИ) в большей степени связано с изучением удароопасности массива горных пород в шахтах и горных выработках, а также с прогнозированием землетрясений и горно-тектонических ударов [2-5]. Данные работы проводятся как в естественном залегании горных пород, так и в лабораторных условиях.

Рассматривая процесс образования ЭМИ, который возникает за счет колебания свободных зарядов в кристаллической решетке минералов при ее деформации, стоит принимать во внимание множество факторов, одним из которых является электропроводность образца. Таким образом, при рассмотрении данного эффекта в геологической среде, проводимость среды, в которой распространяется электромагнитный сигнал, накладывает ограничение на данный процесс.

В данной работе приведены результаты скважинных исследований, проведенных в естественном залегании горных пород на доразведываемом месторождении Северо-Тараташского участка (Южный Урал), а также на разрабатываемом Гусевогорском месторождении Качканарской группы. Целью проведения исследований на месторождениях являлось получение новых экспериментальных данных о связи содержания полезных компонентов в титаномагнетитовых рудах с параметрами сигналов ЭМИ (в естественном залегании). Проведены измерения ЭМИ в трех частотных диапазонах – 45 (F1), 80 (F2) и 120 кГц (F3) [1].

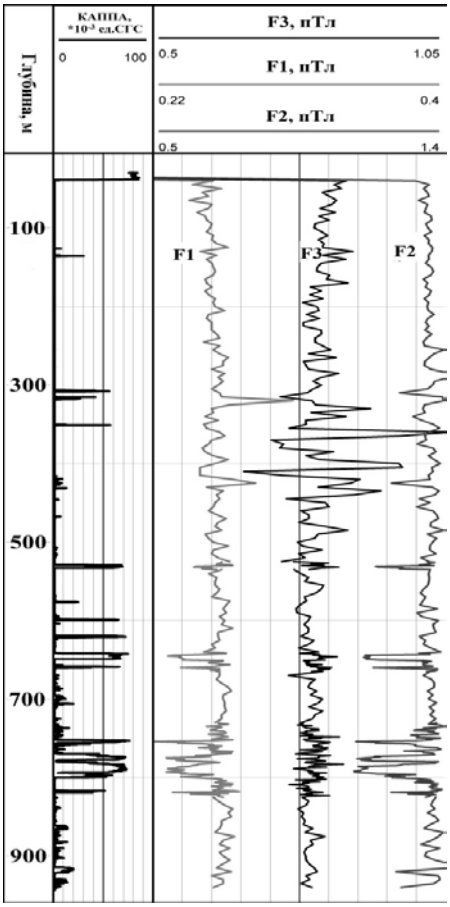


Рис. 1. Измерения ЭМИ и каппометрии в скважине №1

Северо-Тараташское месторождение находится в Челябинской области и приурочено к Куватальскому рудному горизонту. Имеет сложное геологическое строение и состоит из чередующихся рудных и безрудных пластовых тел. Первые представлены магнетитовыми кварцитами и магнетит-гиперстеновыми кристаллическими сланцами, а вторые – пироксеновыми и пироксен-плагиоклазовыми кристаллическими сланцами, амфиболами, пироксенитовыми и гранатовыми кварцитами. Измерения электромагнитного излучения проводились поточечно, шаг каротажа варьировался от 5 м (в безрудной зоне) до 1 м в руде.

Были выполнены каротажные работы в пяти скважинах данного месторождения, пространственно удаленных друг от друга на сотни метров. Пример проведённых измерений в скважине №1 приведен на рисунке (рис. 1). По геолого-геофизическим данным в верхней части разреза до глубины 600 м присутствует вкрапленное и тонко пластовое оруденение, а в нижней части – более мощное, массивное тело. Это также отражается в измерениях ЭМИ на частотах 45 и 80 кГц отрицательными аномалиями. На частоте 120 кГц четко отбивается аномалия на глубине от 315 до 445 м, которая, по всей вероятности, картирует тектонический разлом, отмеченный на поверхности в 100 м от скважины.

По результатам измерений в скважинах месторождения был построен график распределения интенсивности ЭМИ от значений магнитной восприимчивости (рис. 2а), а также от значений процентного содержания железа, полученного по результатам исследования керна из двух скважин (рис. 2б). Данные для сравнения были выбраны только из рудных зон. Анализируя полученные диаграммы, как в первом, так и во втором случае видна линейная зависимось. Это можно объяснить тем, что при увеличении содержания магнетита в горной породе происходит затухание фоновых значении ЭМИ, то есть происходит своего рода экранирование сигнала электромагнитного излучения.

Исследование на Гусевогорском месторождении, находящемся в Нижне-Туринском районе Свердловской области, проводились в буровзрывных скважинах. Промышленное оруденение представлено вкрапленностью титаномагнетита, минералы представлены магнетитом и ильменитом.

На рисунке приведен пример измерений электромагнитного излучения в скважинах на одном из блоков карьера (рис. 3а). В данном исследовании, как и на Северо-Тараташском участке, видна та же тенденция. При сопоставлении с данными измерения каппометрии, пересчитанной в значения содержания железа (рис. 3б), видно, что при увеличении магнитной восприимчивости горных пород, а, соответственно, и увеличении содержания магнетита электромагнитное излучение уменьшается.

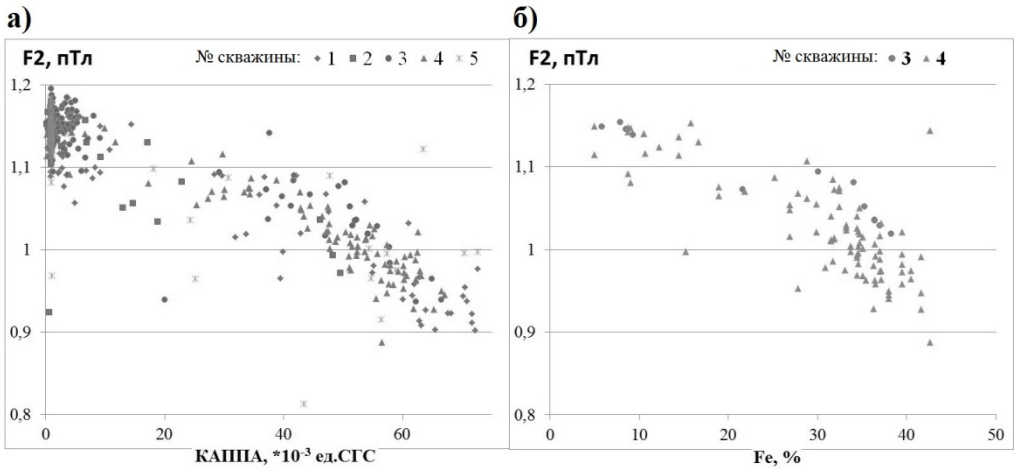


Рис. 2. Сопоставление данных ЭМИ с каппометрией и процентным содержанием железа

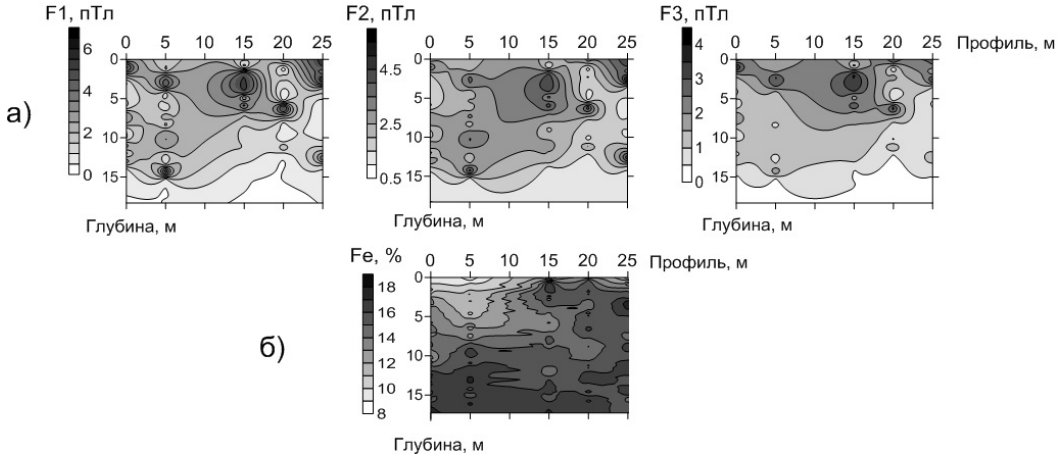


Рис. 3. Результаты измерений ЭМИ и каппометрии в скважинах по профилю

Расчет коэффициента корреляции для обоих месторождений между показаниями электромагнитной эмиссии и содержанием железа (или магнитной восприимчивости горных пород) показал высокую взаимозависимость. Следует отметить, что экранирование (поглощение) или усиление (многократное отражение) сигналов ЭМИ, как правило, рассматривается при исследовании искусственных образцов для создания поглотительных элементов, в то время как в исследовании в геологической среде данный фактор в большинстве случаев не принимается во внимание.

Таким образом, анализ полученных результатов выявил сильную связь ЭМИ с магнитной восприимчивостью пород на участках магнетитового оруденения. Это может свидетельствовать о высокой эффективности применения каротажа электромагнитного излучения на железорудных месторождениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ–16-35-00254 и программы УрО РАН–15-11-5-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

6. Астраханцев Ю.Г. Аппаратурно-программный комплекс для скважинных исследований напряженно-деформированного состояния среды / Ю.Г. Астраханцев [и др.] // НТВ Каротажник. №239. 2014. С. 39-51.

7. Беспалько А.А. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействиях / А.А. Беспалько, Л.В. Яворович, П.И. Федотов // Известия Томского политехнического университета. № 7, Т. 308. 2005. С. 18-23.
8. Вострецов А.Г. Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах / А.Г. Вострецов [и др.] // ДОКЛАДЫ АН ВШ РФ. 2013. № 2 (21). С. 46-54.
9. Гаврилов В.А. Сравнение результатов скважинных геоакустических измерений с данными лабораторных и натурных экспериментов по электромагнитному воздействию на горные породы / В.А. Гаврилов, Л.М. Богомолов, А.С. Закупин // Физика Земли. 2011. №11. С. 63-74.
10. Довбня Б.В. Электромагнитные предвестники землетрясений и их повторяемость / Б.В. Довбня // Геофизический журнал. №3. Т.36. 2014. С. 160-165.

BOREHOLE INDICATION OF TITANO-MAGNETITE AND IRON-QUARTZITE ORES BY ELECTROMAGNETIC RADIATION METHOD

Alexey Vdovin
IGF UB RAS, Ekaterinburg
agvd@bk.ru

Abstract. Research results of electromagnetic radiation on iron-ore deposits are provided. Relation between electromagnetic radiation researches and rocks formation magnetic susceptibility in mineralized zone is revealed.
Key words: electromagnetic radiation, iron-ore deposit, borehole, magnetic susceptibility

УДК 550.34.016

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В РАМКАХ РАБОТ ПО СМР

Верхоланцев Александр Викторович
ГИ УрО РАН, г. Пермь
vercholancev@gmail.com

Аннотация. Работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР) выполняются комплексом инженерно-геологических исследований. Помимо информации о приращениях балльности, которые дают метод регистрации землетрясений и метод микросейсм, важна информация о скоростном и плотностном строении. Это необходимо для определения приращения сейсмичности методом сейсмических жесткостей, для теоретического расчета спектральных характеристик грунтов, а также для расчета синтетических сейсмограмм возможных землетрясений. В последние десятилетия активно развивается метод SASW (Spectral Analysis of Surface Waves – Спектральный Анализ Поверхностных Волн). В работе приведен пример применения метода SASW в рамках работ по СМР.
Ключевые слова: сейсмическое микрорайонирование, СМР, спектральный анализ, резонансные характеристики, синтетические сейсмограммы

При проектировании зданий и сооружений необходим учет интенсивности сейсмического воздействия возможных землетрясений. Сейсмическое районирование дает вероятностные характеристики возможных сейсмических воздействий. В зависимости от масштабов картирования, по российским стандартам выделяют следующие виды районирования:

- общее сейсмическое районирование (ОСР);
- детальное сейсмическое районирование (ДСР);
- сейсмическое микрорайонирование (СМР).

Задачей сейсмического микрорайонирования является определение величины корректировки балльности возможных землетрясений за счет местных грунтовых условий - совокупности геоморфологических, литологических, гидрогеологических и физико-механических характеристик, влияющих на амплитуду и частотный состав приходящей сейсмической волны. Наиболее благоприятными в сейсмическом отношении считаются прочные скальные грунты. Сильно выветрелые или нарушенные геологическими процессами породы, просадочные грунты, районы осыпей, плывунов, горных выработок неблагоприятны для устройства оснований сооружений [4]. В результате выполненных работ по СМР, интенсивность возможных землетрясений, которая указана на картах ОСР, может быть скорректирована на ±1 балла по шкале MSK-64. Карты сейсмического микрорайонирования строятся в масштабе 1:50000 и крупнее. Нормативно-методическая и техническая база сейсмического микрорайонирования регламентирует нормы производства работ (РСН 60-86), технические требования к ним (РСН 65-87), а также дает методические рекомендации (МДС 22-1.2004).

Проводимые летом 2016 года лабораторией природной и техногенной сейсмичности (ПТС) Горного института УрО РАН работы по сейсмическому микрорайонированию характеризовались большой территорией исследования (более 130 Га), а также наличием разных инженерно-геологических условий. Особенностью проводимых работ было наличие сильных техногенных источников помех, связанных с активностью строительной техники и близким расположением действующих промышленных объектов, что обуславливало комплекс выполняемых инженерно-геологических исследований.

Стандартный метод исследований заключался в одновременных наблюдениях за землетрясениями (взрывами) и микросейсмами на исследуемых и на эталонном грунтах (метод регистрации землетрясений, метод регистрации взрывов и метод микросейсм). Полученные в итоге записи сейсмических колебаний, регистрируемые одновременно на разных грунтах, являются основанием для оценки усиления колебаний, имеющих прямую связь с изменением сейсмической интенсивности. Необходимое для надежной оценки ΔI количество записей землетрясений требовало длительных непрерывных наблюдений в намеченных пунктах. Поскольку количество пунктов наблюдений превышало 120 шт., полевой этап работ по методу регистрации землетрясений длился более трех месяцев. Выполнение работ по СМР стандартным методом детально описано в учебно-методическом пособии [4], а вопросы сравнения результатов работ, выполненных разными методами, рассмотрены в ранее выполненных работах [1, 2, 3].

Помимо описанного выше стандартного метода, позволяющего непосредственно оценить резонансные характеристики грунтов, в рамках выполненных работ на объекте использовались расчетные (теоретические) методы, исходными данными для которых служили известные характеристики разреза:

- мощности слоев;
- плотности слагающих пород;
- водонасыщенность;
- сейсмические характеристики скорости продольных, поперечных и поверхностных волн, декременты затухания).

Поскольку сейсмическое микрорайонирование выполняется на этапе проектирования, данные физико-механических свойств грунтов, как правило, уже известны по результатам бурения разведочных скважин. Остальную информацию можно получить в ходе инженерных сейсморазведочных или сейсмологических работ. Одним из методов по изучению скоростного строения верхней толщи массива является SASW (Spectral Analysis of Surface Waves – Спектральный Анализ Поверхностных Волн). Этот метод основан на дисперсионном анализе поверхностных волн и получил большой распространение за рубежом. В лаборатории ПТС разработан и опробован собственный вариант метода SASW [5]. Принципиальная схема данного подхода включает следующие этапы:

– проведение микросейсмических измерений;

– обработка микросейсмических данных с целью построения дисперсионных кривых фазовой скорости первых гармоник волн Рэлея;

– восстановление (инверсия) по дисперсионным кривым скоростного разреза поперечных волн.

В итоге, физико-механические свойства грунтов в совокупности со сведениями о скоростном строении являются основой для расчетов методом сейсмических жесткостей. Аналитический расчет спектральных характеристик грунтов, необходимый для построения акселерограмм возможных землетрясений, выполняется на основе полученных скоростных разрезов.

Имеющиеся инженерно-геологические условия позволяли применить для исследований модель горизонтально-слоистой среды. Регистрируемые на каждом пункте сейсмические волны охватывают объем пород размерами, сопоставимыми с длиной волн в диапазоне частот от 0.1 до 10 Гц. Таким образом, результаты наблюдений в каждом пункте характеризуют всю прилегающую область с горизонтальными размерами от 50 до 100 м. Площадь исследования, как говорилось ранее, превышала 130 Га, поэтому на объекте выполнены исследования по методу SASW в 42 пунктах наблюдения. Большой объем полученной информации (42 пункта методом SASW и 120 пунктов стандартным методом) позволили перейти к сравнению результатов, полученных обоими методами, что и было главной задачей данной работы.

Достоверность полученных в ходе восстановления (инверсии) скоростных разрезов поперечных волн зависит от наличия и точности априорной информации. Неоднозначность решения обратной задачи в ходе обработки данных метода SASW затрудняла сравнение с результатами, полученными стандартным методом. В то же время сами по себе дисперсионные кривые, характеризующие связь частоты волны с ее скоростью, рассчитываются однозначно. В связи с этим было решено использовать для последующего анализа именно их. Так, средняя скорость поверхностной волны V_R в 10 метровой толще (согласно РСН 60-86 учитывается только верхняя толща мощностью 10 м от планировочной отметки) может быть оценена на основании скорости волны длиной 30 м, поскольку глубина проникновения поверхностной волны примерно равна 1/3 ее длины. Средняя скорость поперечных волн V_S в 10 метровой толще в этом случае может быть определена с использованием следующей формулы:

$$\frac{V_R}{V_S} = \frac{0.862 + 1.14\mu}{1 + \mu}, \qquad (1)$$

где μ - коэффициент Пуассона. Далее приращения сейсмической интенсивности, обусловленные различиями сейсмической жесткости пород, рассчитаны согласно формуле п. 3.4.3 РСН 65-87.

На рисунке 1 представлены карты СМР, полученные с использованием стандартного и экспресс-методов расчета. Как видно из данного рисунка, в западной части обеих карт четко прослеживаются зоны слабых в сейсмическом отношении грунтовых

условий, обусловленных засыпанным оврагом. Таким образом, можно говорить о том, что оценки усилений грунтов, полученные обоими методами близки друг к другу. Более того, низкая по сравнению с методом регистрации землетрясений трудоемкость метода SASW в описанной его модификации, позволяет его использовать в качестве надежного экспресс-метода.

Рис. 1. Фрагмент карты уточненной сейсмической опасности, полученной разными методами СМР

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верхоланцев А.В. Влияние локальных факторов на результаты сейсмического микрорайонирования / А.В. Верхоланцев // ГЕОФИЗИКА-2009: VII Междунар. науч.-практ. конф. молодых специалистов / СПбГУ, EAGO. – СПб., 2009. – С. 118-119.
2. Верхоланцев А.В. Сравнительная оценка основных методов сейсмического микрорайонирования / А.В. Верхоланцев // СТРАТЕГИЯ И ПРОЦЕССЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ: Материалы ежегодной научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2009 г. Пермь, 2010. С. 171-173.
3. Дягилев Р.А. Локальный эффект усиления грунтов при сейсмическом микрорайонировании: методы оценки и их сравнение / Р.А. Дягилев, Ю.В. Баранов, Ф.Г. Верхоланцев // Горное Эхо. - 2006. - № 4 (26). - С. 30-36.
4. Дягилев Р.А. Микросейсмическое районирование: учеб.-метод. пособие / Р.А. Дягилев, Д.А. Маловичко; Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2007. – 120 с.
5. Маловичко Д.А. Изучение скоростей поперечных волн в верхней части разреза по поверхностным волнам / Д.А. Маловичко // Горное Эхо. - 2007. - № 1 (27). - С. 28-32.
6. МДС 22-1.2004. Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений. М.: МИИТ, 2004. 61 с.
7. РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. Введ. 1997-01-01. М.: Госстрой РСФСР, 1997. 17 с.
8. РСН 65-87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. Введ. 1998-01-01. М.: Госстрой РСФСР, 1998. 14 с.

© ГИ УрО РАН. 2017

SPECTRAL ANALISIS APPLICATION OF SURFACE WAVES FOR SEISMIC MICROZONATION

Aleksandr V. Verkholantsev
MI UB RAS
vercholancev@gmail.com

Abstract. Seismic microzonation is carried out by engineering and geological research complex techniques. Besides amplification information, taken from earthquakes registration method and microseism method, there is important information about speed and density structure. It is necessary to determine seismic intensity increment by seismic impedance method, to evaluate theoretically spectral characteristics of soils, as well as synthetic accelerograms of possible earthquakes. SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) is actively developing method in recent decades. An example of SASW application as a part of seismic microzonation is given in the article.
Key words: seismic microzonation, SMZ, spectral analysis, resonance response, synthetic accelerograms

УДК 550.34

ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА ЗА 2016 ГОД ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

***Войтова Анастасия Сергеевна*[1,2]**
[1]ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь
[1]ГИ Уро РАН, г. Пермь
voitova.as@gmail.com

Аннотация. В работе представлены результаты сейсмического мониторинга в 2016 г. на территории Северо-Западного Кавказа. За период 2016 г. зарегистрировано 306 землетрясений, пять из которых вызвали макросейсмические проявления на территории.
Ключевые слова: сейсмология, сейсмический мониторинг, Западный Кавказ, землетрясение, макросейсмический эффект

В 2016 году сеть сейсмических наблюдений на территории Северно-Западного Кавказа состояла из 17 сейсмических станций (рис. 1), 8 из которых находились непосредственно в зоне Причерноморья. В целом сейсмическая сеть в Причерноморье позволяет регистрировать землетрясения с энергией $K_{пред.}$=8.0.

За период инструментальных наблюдений в 2016 г в пределах территории западной части Северного Кавказа зарегистрировано 306 землетрясений (рис. 1). Магнитуда *ML* зарегистрированных событий колеблется от 0.8 до 5.6, глубины *h* от 1 до 41 км.

На рисунке 1 представлено распределение эпицентров землетрясений. При пространственном анализе очагов землетрясений отмечается, что основная масса их распределена в четырех основных зонах проявления сейсмической активности: Анапско-Новороссийско-Геленджикская, Сочи-Краснополянская, Тебердинско-Гегечкорско-Чхалтинская, Восточно-Черноморская, выделенных ранее в работах [3, 6].

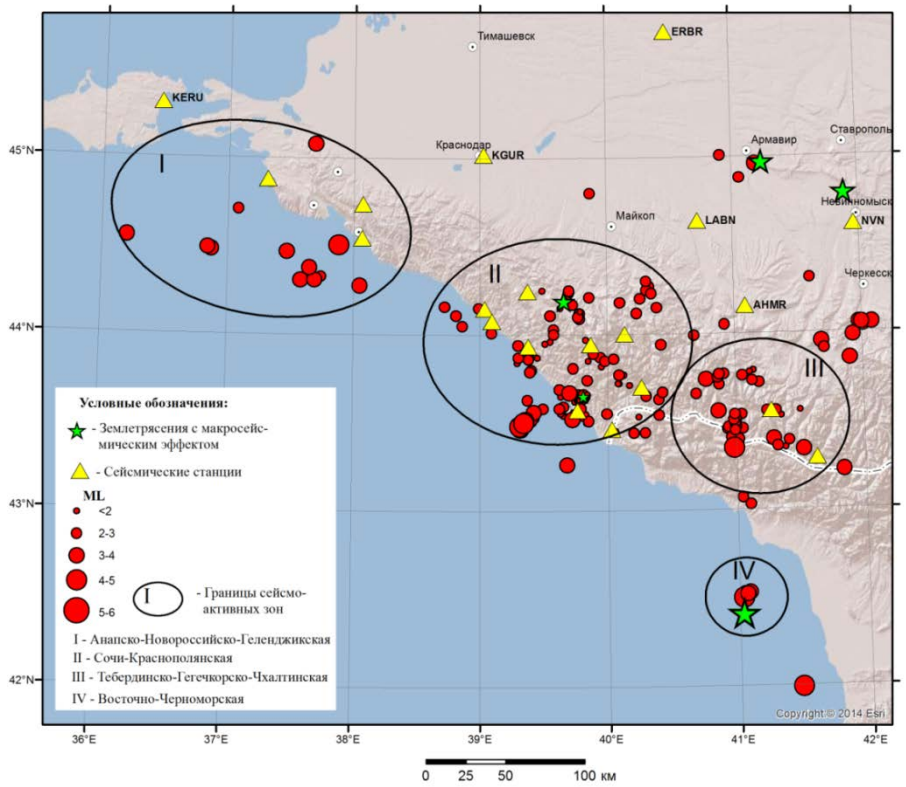


Рис. 1. Карта распределения эпицентров сейсмических событий в 2016 г.

Из общего количества зарегистрированных событий, 5 землетрясений, по данным ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, имели макросейсмические проявления (табл. 1). Наиболее сильное землетрясение произошло 21 сентября 2016 г. в 19:27:35 (UTC) в Восточно-Черноморской зоне, расположенной на стыке нескольких тектонических элементов: Гудаутского поднятия, Восточно-Черноморской впадины и простирающейся в шельфовой зоне Рионской впадины. Данная зона характеризуется проявлением афтершоков уникального Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г [5]. Данный афтершоковый процесс продолжается и в настоящее время, в 2016 г зарегистрировано 9 событий, с *ML* от 2.3 до 5.6. В работе [1] представлена гипотеза, что данный афтершоковый процесс – это следствие нарушения флюидо-динамического равновесия в разломной зоне, вызванное разрушением слоя газовых гидратов основным толчком и сильными афтершоками.

Таблица 1

Параметры землетрясений с макросейсмическими проявлениями на территории Северо-Западного Кавказа в 2016 г.

№	Дата	Время в очаге	ϕ, °N	λ, °E	h, м	ML	Макросейсмические данные (ФИЦ ЕГС РАН)
1	29.03.2016	14:01:43	43.63	39.80	5	3.3	Сочи 2-3
2	21.09.2016	19:27:35	42.43	40.91	10	5.6	Адлер 3-4, Хоста 3-4, Адлер 3-4, Хоста 3-4
3	09.10.2016	21:40:52	44.89	41.78	10	4.5	Ставрополь 2-3
4	21.10.2016	21:17:24	45.04	41.22	20	5.0	Армавир 3-4
5	30.10.2016	5:27:03	44.37	39.58	10	3.8	Туапсе 3-4, Апшеронск 3-4, Лазаревское 2-3, Ставрополь - 2

Два других ощутимых землетрясения произошли 29 марта 2016 г. в 14:01:43 (UTC) и 30 октября 2016 г. в 05:27:03 (UTC) (табл. 1) в Сочи-Краснополянской зоне (рис. 2). Данный район в тектоническом плане состоит из юго-западной части отрогов Большого Кавказа, а также прилегающих участков Черноморской впадины и западной части антиклинория Главного хребта [3, 6].

Особенностью Сочинско-Краснополянского района является наличие роев землетрясений (группы сопоставимых по магнитуде толчков без главного толчка, локализованных в небольшом пространстве и промежутке времени).

Весной 2016 г. на территории Большого Сочи зафиксировано проявление слабых роевых последовательностей, отдельные землетрясения которых ощущались в Сочи интенсивностью 2–3 и 3 балла (табл. 1). По историческим данным этот район известен неоднократно возникающими роями, сильнейшие из них происходили в 1870 г., 1955 г. 1959 г. и в 1970 г., ощущались до 7–8 баллов и имели разрушительный эффект. В работе [2] получено уточненное положение эпицентров роев в марте-апреле 2016 г., которое показало приуроченность их к наиболее опасным глубинным разломам в Сочинско-Краснополянском районе: Черноморскому, западному Пластунскому и Краснополянскому.

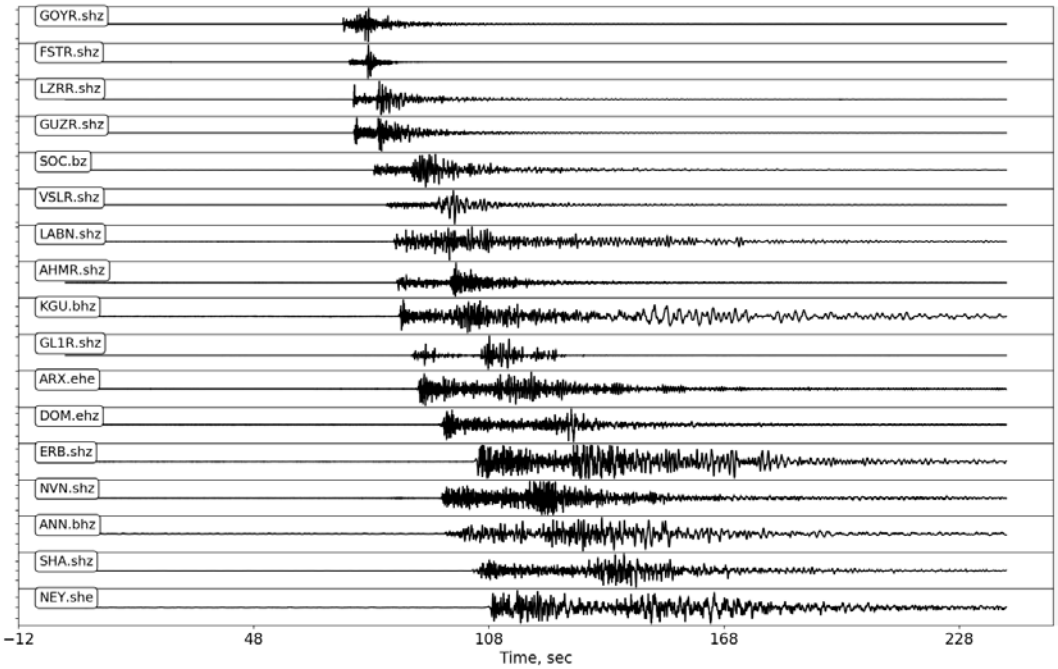


Рис. 2. Сейсмограммы землетрясения, произошедшего 30 октября 2016 г. в районе г. Гузерипль

В пределах Анапско-Новороссийско-Геленджикской зоны наблюдается недостаточная плотность сейсмических станций (рис. 1), в связи с этим дополнительно используются бюллетени обработки станций Крымской сети. Данная зона в тектоническом отношении зона включает в себя следующие элементы:

- южная часть Индоло-Кубанского краевого прогиба, являющегося частью Азово-Кубанской впадины, сочленяющей структуры Большого Кавказа со Скифской плитой;
- Керченско-Таманская зона поперечного погружения;
- район Черного моря, лежащий между прогибом Сорокина, протягивающимся вдоль крымского побережья и Туапсинским прогибом, вытянутым вдоль кавказского побережья;

– западные отроги Большого Кавказа [3, 6].

За изучаемый период наблюдений в данной зоне зарегистрировано всего 12 землетрясений с *ML*=2.9-4.5.

Тебердинско-Гегечкорско-Чхалтинской зона, большая ее часть расположена за границей Российской-Федерации – в Грузии. Данная зона в тектоническом отношение содержит следующие элементы:

– западную часть северной моноклинали Центрального Кавказа (Адыгейский выступ, Лабино-Зеленчукская моноклиналь);
– часть антиклинория Главного хребта [3, 6].

В сейсмическом отношении зона после Чхалтинского землетрясения 1963 г. хранила сейсмическое молчание, здесь не было зарегистрировано землетрясений с M≥4. После 2011-2012 гг. ситуация изменилась и было зарегистрировано более 40 землетрясений с M=0.5-3.0 [4]. В 2016 г в зоне зарегистрировано 35 событий, с *ML*=1.7-4.6.

В 2016 г. кроме основных четырех сейсмогенных зон, землетрясения регистрируются также в смежных районах (рис. 1). Особо внимания заслуживают два события 9 октября 2016 г в 21:40:52 (UTC) и 21 октября 2016 в 21:17:24(UTC) в районе городов Армавир (рис. 3) и Невинномысск, которые произвели макросейсмический эффект на близлежащей территории (табл. 1). Данная территория относится к центральному Предкавказью (центральная часть зоны Манычских прогибов, Ставропольский свод, Восточно-Ставропольская впадина) [3, 6]. При накоплении большего количества инструментальных данных, территория в перспективе сможет быть выделена в отдельную сейсмогенерирующую зону.

В целом 2016 г характеризуется невысоким уровнем сейсмической активности по сравнению с предыдущими годами, однако, отдельно стоит отметить, что за изучаемый период произошло 5 землетрясений вызвавших макросейсмический эффект на изучаемой территории.

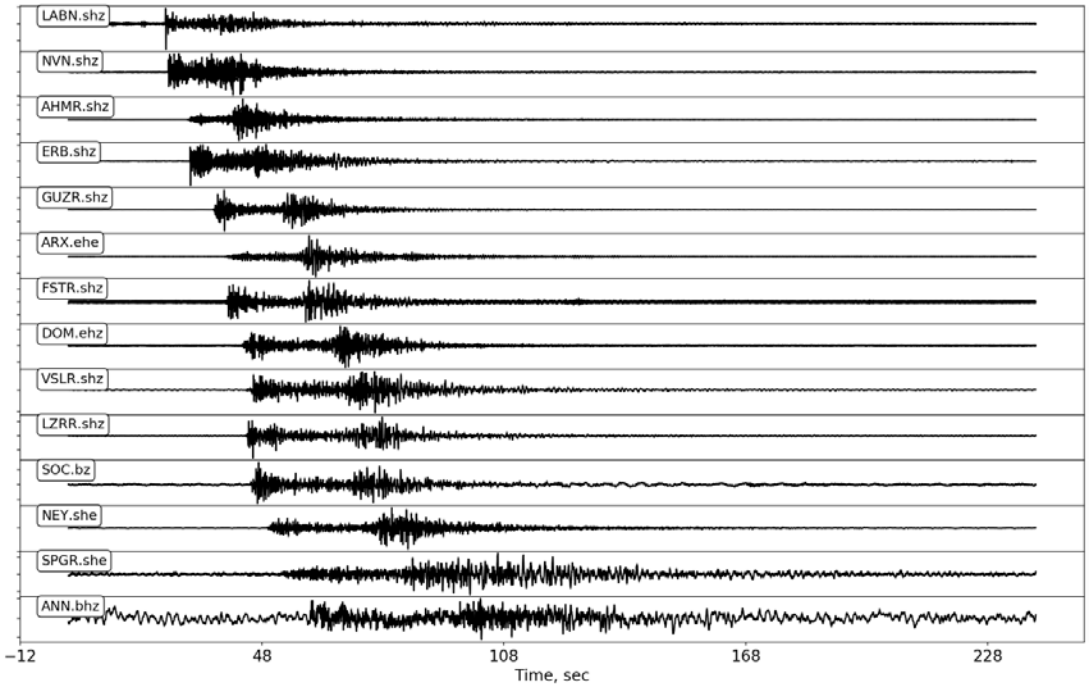


Рис. 3. Сейсмограммы землетрясения, произошедшего 21 октября 2016 г. в районе г. Армавир

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов С.В. Афтершоковые процессы сильных землетрясений Западного Кавказа / С.В. Баранов, И.П. Габсатарова // Физика Земли. – 2015. – №3. – С. 134-144.
2. Войтова А.С. Исследование слабых роев в 2016 г. в районе Сочи и Красной Поляны / А.С. Войтова, И.П. Габсатарова / Материалы XI Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 98-102.
3. Габсатарова И.П. Исследование пространственно-временных особенностей сейсмичности на Северном Кавказе: диссертация кандидата физико-математических наук. Обнинск, 2010. 178 с.
4. Габсатарова И.П. Современная сейсмичность Восточного Причерноморья / И.П. Габсатарова [и др.] // Материалы VIII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 119-124.
5. Заклюковская А.С. Об особенностях афтершокового процесса Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. с M=5.6 / А.С. Заклюковская, И.П. Габсатарова // Материалы VIII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 167-171.
6. Овсюченко А.Н. Сейсмотектоника и элементы современной геодинамики Северо-Западного Кавказа по данным палеосейсмологических исследований: диссертация кандидата геолого-минералогических наук. Москва, 2006. 172 с.

NORTH-WESTERN CAUCASUS SEISMICITY 2016 REVIEW BY INSTRUMENTAL DATA

***Voitova Anastasia*[1,2]**
[1]FRC GS RAS, Perm, [2]MI UB RAS, Perm
voitova.as@gmail.com

Abstract. Seismic monitoring results for 2016 at the North-Western Caucasus are presented in the paper. 306 earthquakes had been recorded in 2016, 5 of which had caused macroseismic consequences across.
Ключевые слова: seismology, seismic monitoring, Western Caucasus, earthquake, macroseismic response

УДК 550.348

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРСТУЮЩЕГОСЯ МАССИВА ЛЕДЯНОЙ ГОРЫ

Ворошилов Владислав Алексеевич, Селетков Илья Алексеевич
Тихомиров Филипп Александрович
ПГНИУ, г. Пермь
Vlad13a@gmail.com, seletkov.ilya@gmail.com, happystudent10@gmail.com

Аннотация. Ледяная гора находится в окрестности города Кунгура (Пермский край, Россия) и вместе с известной Кунгурской Ледяной пещерой представляет собой единый историко-природный комплекс, вмещающий также множество меньших полостей, развившихся вследствие карстово-суффозионных процессов. В августе 2016 года на участке горы выполнялись геофизические исследования пятью методами (микрограви-

разведка, магниторазведка, сейсморазведка, электроразведка и радиометрия) в окрестности локальной отрицательной аномалии силы тяжести, выявленной в результате гравиметрических исследований 2014 года. Предполагается, что данная аномалия обусловлена наличием крупной карстовой полости в теле горы. Геофизические исследования получили финансовую поддержку американского общества Society of Exploration Geophysicists в виде гранта на проведение полевого лагеря «Karst Scene Investigation». В статье представлены первые результаты совместной интерпретации данных различных геофизических методов, призванных подтвердить или опровергнуть наличие предполагаемой карстовой полости.
Ключевые слова: Ледяная гора, карстовая полость, микрогравиразведка, электроразведка, сейсморазведка, магниторазведка, радиометрия

В период с 1 по 10 августа 2016 года студенты России, Казахстана, Англии и Франции приняли участие в полевом лагере «Karst Scene Investigation», организованном Пермским отделением международной организации геофизиков SEG при поддержке Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) и Горного института Уральского отделения Российской академии наук (ГИ УрО РАН). Объектами изучения участников лагеря являлась Ледяная гора, вмещающая Кунгурскую Ледяную пещеру. Гора и пещера представляют собой единый историко-природный комплекс, отличающийся сложным геологическим строением и повсеместным развитием карстово-суффозионных процессов. Этот уникальный природный памятник расположен в Пермском крае в окрестностях с. Филипповка Кунгурского района (рис. 1).

В 2014 году сотрудниками ГИ УрО РАН на участке Ледяной горы были выполнены гравиметрические исследования и выделен ряд локальных аномалий силы тяжести отрицательного знака, предположительно обусловленных наличием крупных карстовых полостей в теле горы, выше уровня залегания Кунгурской Ледяной пещеры [5]. Целью комплексных работ в рамках полевого лагеря являлось изучение геологического строения в окрестности одной из отрицательных аномалий силы тяжести, анализ гипотезы о наличии карстовой полости с позиций информации, полученной из других геофизических методов. Глубина верхней кромки карстовой полости по результатам гравиметрических наблюдений оценивалась в 12-15 м.

Рис. 1. Обзорная схема участка работ

Массив Ледяной горы в районе Кунгурской пещеры сложен карбонатными (известняк, доломит) и сульфатными (гипс, ангидрит) породами. Стоит отметить сильную закарстованность верхней части карбонатной пачки, впадины которой заполнены крупноглыбовым материалом карстовых брекчий. Непосредственно вблизи земной поверхности залегают четвертичные глины и суглинки мощностью до 18 м на водоразделе, полностью смытые вблизи склона и на отдельных участках возвышенности. Схематический геологический разрез Ледяной горы показан на рисунке (рис. 2).

В комплекс геофизических исследований входили наземные гравиметрические, магнитометрические, сейсморазведочные, электроразведочные и радиометрические наблюдения. Расположение точек наблюдений, а также выявленной аномалии в результате гравиметрической съемки 2014 года, показано в плане на рисунке (рис. 3). Прежде чем перейти к каким-либо выводам о строении породного массива на участке работ, кратко рассмотрим результаты по каждому из применяемых геофизических методов.

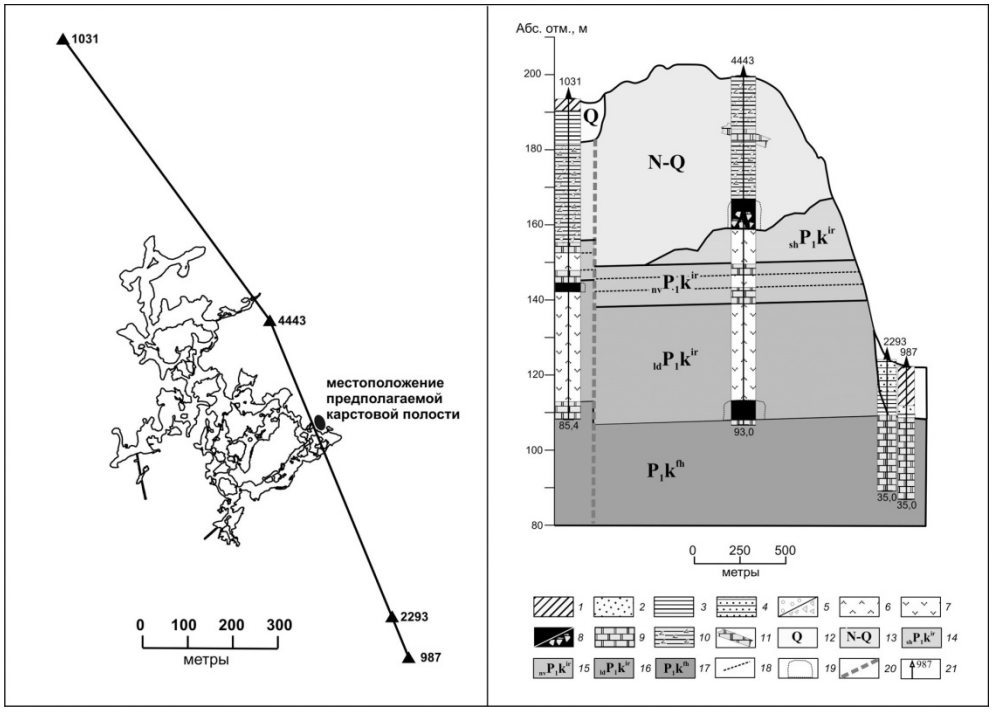


Рис. 2. Геологический разрез Ледяной горы на участке Кунгурской пещеры [2]. Условные обозначения: 1 – суглинок; 2 –песок; 3 – глина; 4 – супесь; 5 – гравийно-галечниковый/дресвяно-щебневый грунт; 6 – ангидрит; 7 – гипс; 8 – провалы инструмента/щебнево-глыбовый материал в карстовой полости; 9 – доломит; 10 – глина известковистая; 11 – фрагмент ксенолита елкинской пачки; 12 – четвертичные отложения; 13 – неоген-четвертичные отложения; 14-16 – пачки (14 – шалашнинская, 15 – неволинская, 16 – ледянопещерская); 17 – филипповский горизонт; 18 – границы между карбонатными и сульфатными породами неволинской пачки; 19 – карстовая полость; 20 – линии предполагаемых разломов; 21 – скважина и ее номер

Радиометрические наблюдения выполнялись в модификации гамма-съемки. Оценка естественного гамма-излучения пород в 2016 г. проводилась в пределах площадки исследований в 158 точках наблюдений (рис. 3). В каждой из точек наблюдений выполнялось от 1 до 3 измерений мощности эквивалентной дозы (МЭД), а затем, при необходимости, рассчитывалось среднее арифметическое полученных значений, которое и принималось за величину интенсивности естественного радиоактивного поля в

конкретном пункте. При работах использовался радиометр-дозиметр РКС-107. В результате исследований установлено, что в пределах участка интенсивность естественного гамма-излучения изменяется от 9 до 23 мкР/ч, составляя в среднем 14 мкР/ч, что соответствует показателям нормального радиационного фона.

Из графиков значений гамма-фона (рис. 4), сформированных для линий комплексных геофизических исследований видно, что характер изучаемого параметра в целом вдоль линий профилей изменяется незначительно и не зависит от направления (то есть среда является изотропной в отношении естественной радиоактивности пород).

Для изучения радиационной обстановки в пределах участка исследований, сформирована карта распределения естественной радиоактивности пород (рис. 5).

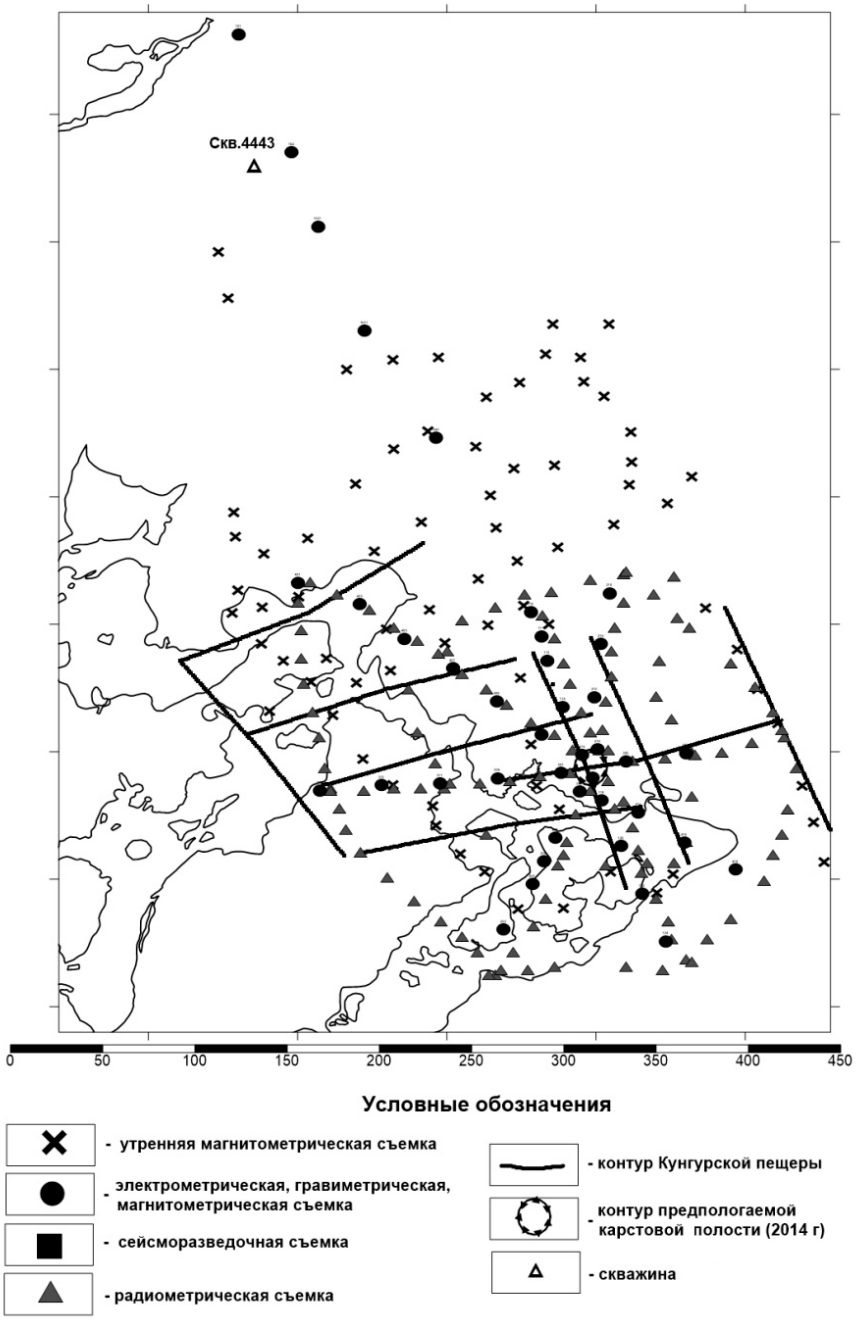


Рис. 3. Общая схема расположения профилей на исследуемом участке Ледяной горы

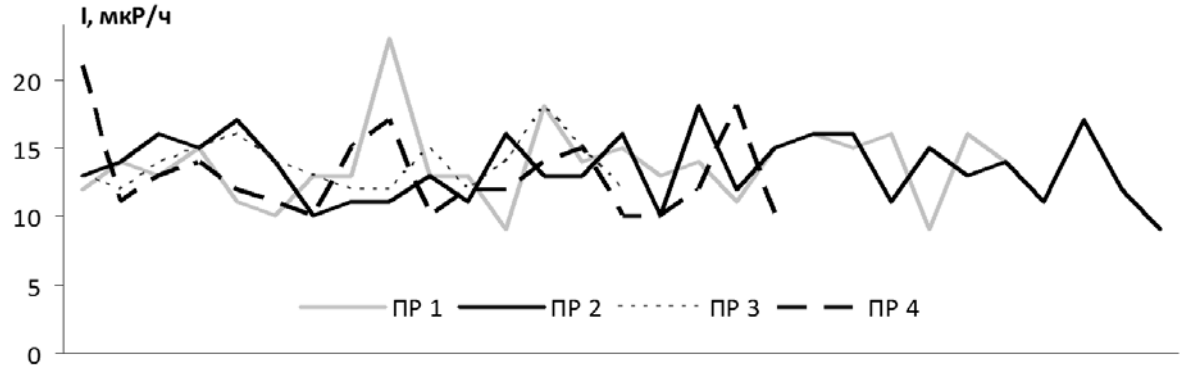


Рис. 4. Значения естественной радиоактивности пород вдоль линий профилей комплексных геофизических наблюдений

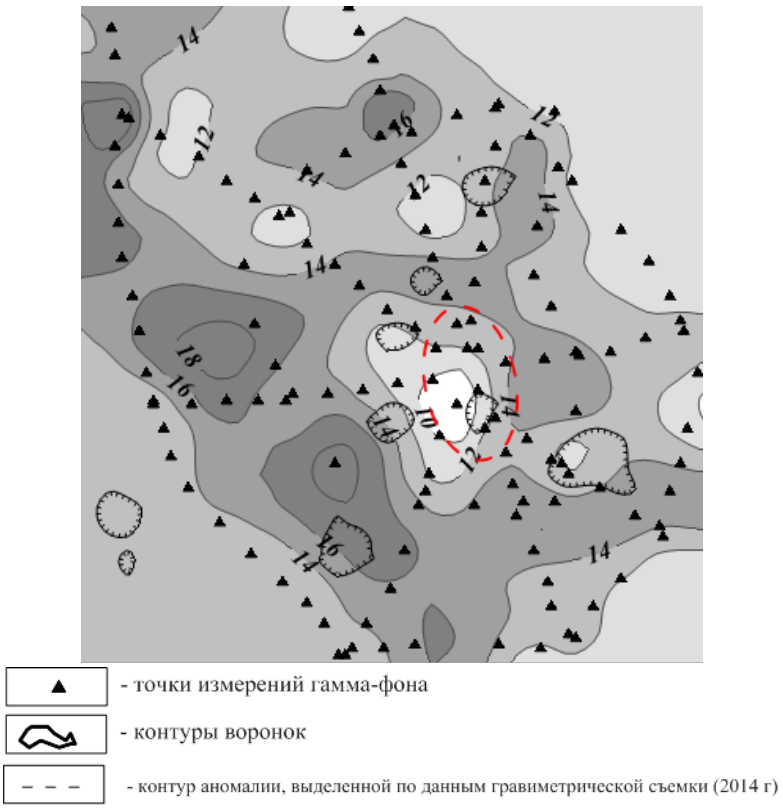


Рис. 5. Карта распределения естественной радиоактивности пород

Проанализировав полученные результаты, можно отметить, что:

– участок карстовой полости, предполагаемой по данным гравиметрических исследований 2014 г., совпадает с зоной минимальных значений активности гамма-фона (менее 10 мкР/ч).

– на карте распределения естественной радиоактивности пород прослеживается зона повышенных значений шириной 18-25 м, пересекающая участок исследований в северо-западном направлении. По-видимому, направление указанной области совпадает с направлением одной из зон тектонической трещиноватости.

– предположение о корреляционной связи карстовых воронок и изменений гамма-фона не подтвердились. В самих воронках и в непосредственной близости к ним величины естественной радиоактивности пород изменяются от 12 до 19 мкР/ч.

Магнитометрические наблюдения выполнены методом дискретной и непрерывной съемок в дневное и утреннее время. Изменения магнитного поля не являются характерными при развитии карстовых процессов. Однако, при ранее выполненных ГИ УрО РАН площадных магнитометрических работах выявлена линейная положительная аномалия магнитного поля, связанная с заполнением тектонического нарушения слабомагнитным глинистым материалом. Исследуемая область с предполагаемой карстовой полостью находится в северном окончании данного тектонического нарушения. В месте локализации отрицательной гравитационной аномалии аналогичная аномалия магнитного поля не наблюдалась (линейная аномалия оканчивалась, не доходя до указанного места), что позволило выдвинуть предположение об отсутствии глинистого заполнителя в карстовой полости. Магнитометрические исследования с меньшим расстоянием между пунктами наблюдений были призваны уточнить морфологию аномального магнитного поля в интересующей области.

Следует отметить, что вблизи участка работ проходит линия электропередач (ЛЭП), влияние которой приближенно оценивалось в работе [5]. С целью снижения влияния техногенных электромагнитных помех на показания магнитометра, один из циклов наблюдений выполнялся рано утром, когда нагрузка на ЛЭП была минимальной. Предполагалось также, что наблюдения в утренние часы позволят уменьшить электромагнитное влияние электрической сети Ледяной пещеры, которая, являясь экскурсионным объектом, теоретически могла создавать вторичное (наведенное) электромагнитное поле в массиве Ледяной горы.

Магнитометрическое оборудование было представлено двумя протонными магнитометрами GSM-19 (Scintrex ltd). Съемка выполнялась в двух режимах: профильном, с остановкой на предварительно обозначенных магнитометрических пунктах (МП) и площадном, с измерениями в автоматическом режиме с интервалом времени между замерами в 1 с и произвольным передвижением по участку.

В первом режиме измерения были выполнены на 76 МП с 400% контролем. Вариационная станция снимала значения магнитного поля с интервалом в 1 с.

Обработка полевых материалов заключалась в исключении вариаций и построении карт магнитного поля. При анализе работы магнитовариационной станции обнаружена техногенная помеха амплитудой примерно 10-15 нТл и периодом 10-30 мин. (рис. 6).

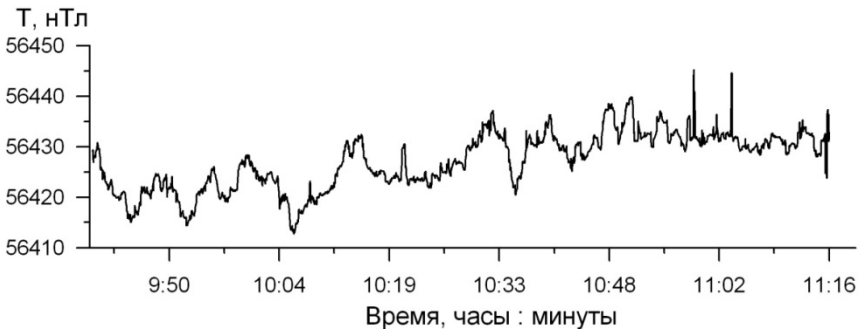


Рис. 6. Вариации магнитного поля при дневной съемке (время по Гринвичу)

Наблюдаемые ранним утром (в 5-6 утра) изменения магнитного поля (рис. 7) имеют более спокойный характер, в отличие от вариаций поля во время съемки, проводимой днем, однако техногенная помеха в них также присутствует. Точная природа помехи и радиус ее идентичности в процессе работ не установлены и требуют дальнейших исследований.

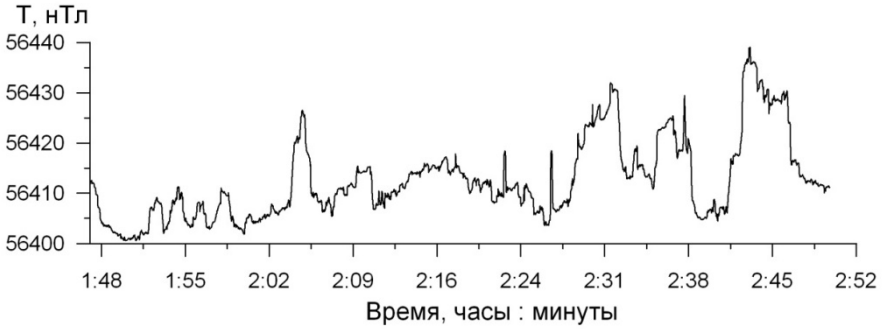


Рис. 7. Вариации магнитного поля при утренней съемке (время по Гринвичу)

Изучение пространственных закономерностей аномалии магнитного поля (рис. 8) позволило выделить следующее:

– на картах изодинам дневной и утренней профильных съемок выделяется аномалия, обусловленная близким расположением ЛЭП; в результатах утренней съемки данная аномалия имеет меньшую амплитуду, что связано со снижением нагрузки на ЛЭП в ночные часы;

– локальных аномалий магнитного поля в области предполагаемой карстовой полости на фоне аномалии от ЛЭП не обнаружено; о характере поля, обусловленном слабыми магнитными характеристиками пород разреза, сложно судить при наличии столь интенсивной сторонней помехи и малых размерах участка съемки;

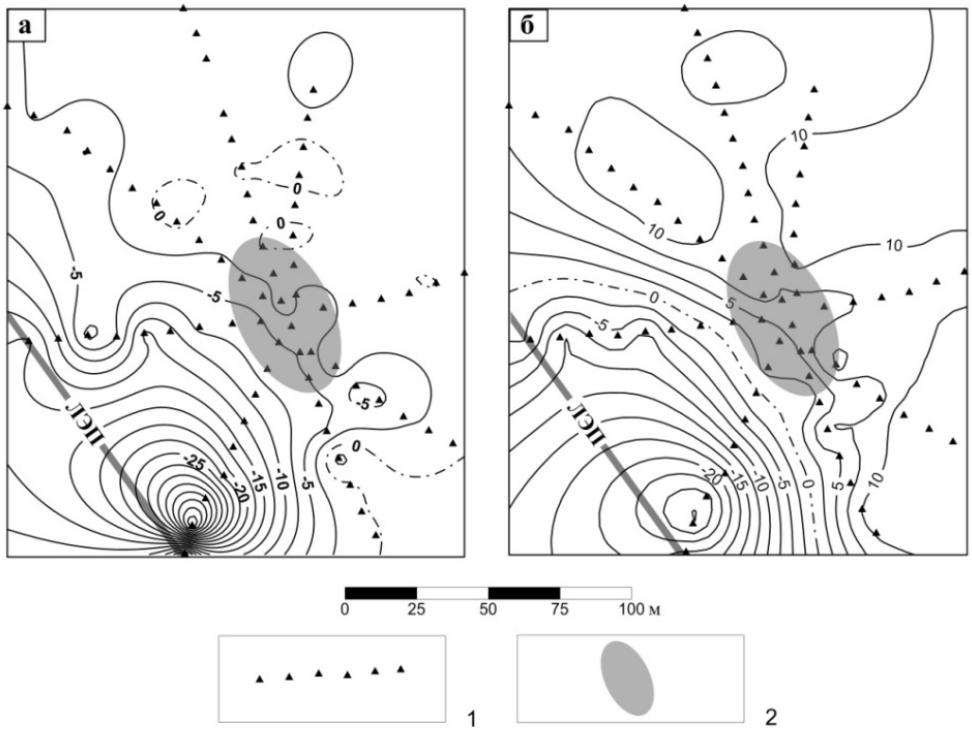


Рис. 8. Карты изодинам магнитного поля: а – результат дневной съемки 4 августа 2016 г. (нТл); б – результат утренней съемки 9 августа 2016 г. (нТл). 1 – пункты магнитометрических наблюдений; 2 – контур предполагаемой карстовой полости

Электроразведочные наблюдения на Ледяной горе участники полевого лагеря «Karst Scene Investigation» проводили в модификации вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) по 4 профилям, что соответствует 38 т.н. При изысканиях исполь-

зовалась аппаратура АМС -1. Длина питающей линии АВ (400 м) подбиралась таким образом, чтобы эффективная глубина зондирования метода соответствовала глубине расположения забоя скважины № 4443 (см. рис. 2). Шаг геометрической прогрессии, характеризующий увеличение разносов относительно друг друга, равнялся 1.45. Для повышения силы приема сигнала использовались две приемные линии MN длиной 5 и 30 м.

Наблюденные кривые ВЭЗ преимущественно (35 пикетов) относятся к типу А. Единичные кривые соответствуют типу К и Н. Непосредственная обработка полевых данных проводилась с помощью специализированной программы «Зонд 2.0». Качественный этап обработки заключался в построении разрезов кажущегося сопротивления для наблюденных профилей (рис. 9), а также карт зависимости наблюденной физической величины от разноса R (рис. 10).

Анализ полученных материалов позволил выявить:

– зоны высоких значений кажущихся сопротивлений в районе пикетов № 117 и 307, которые располагаются над предполагаемой карстовой полостью;

– высокоомная аномалия вблизи пикета № 403, местоположение которого соотносится в плане с центром грота «Эфирный» Кунгурской пещеры;

– выделена зона пониженных кажущихся сопротивлений в районе пикетов № 407-409. Данная особенность проявляется, начиная с поверхности наблюдения и до предельного значения глубины зондирования.

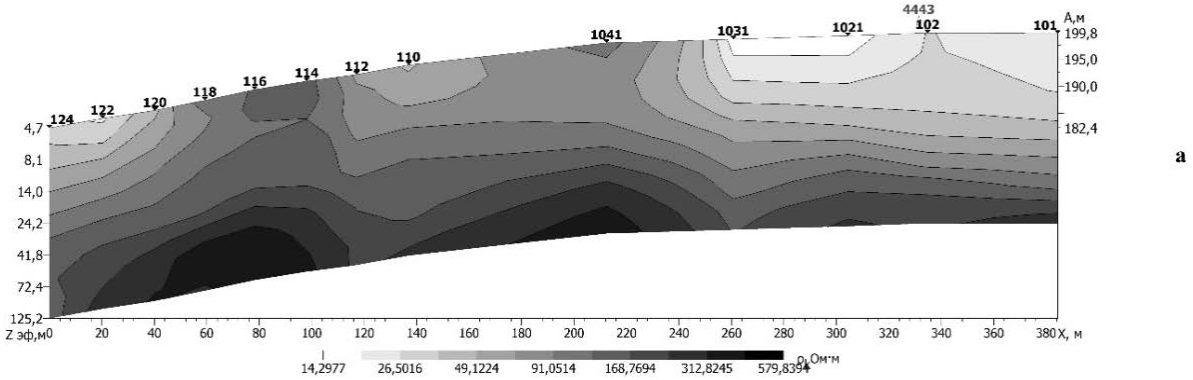


Рис. 9. Разрез кажущихся сопротивлений по одному из комплексных профилей

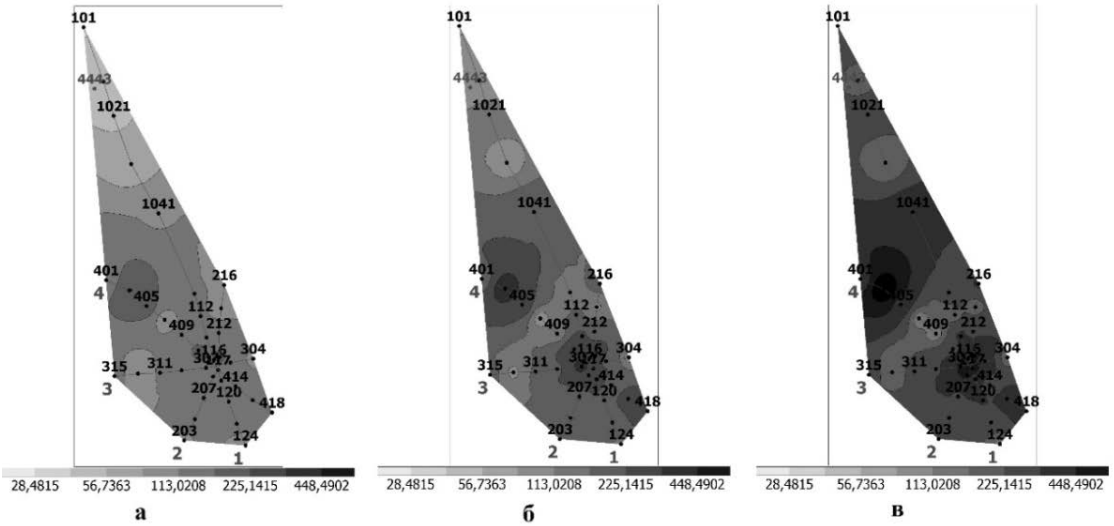


Рис. 10. Карты кажущихся сопротивлений в зависимости от величины разноса: а) R =36 м; б) R = 70 м; в) R = 200 м

При количественной интерпретации данных использовались результаты бурения скважины № 4443 (см. рис. 2). Наименьшая невязка между наблюденной и теоретической кривой достигнута при аппроксимации геологического разреза пикета № 102 трехслойной физико-геологической моделью (рис. 11). При этом верхний слой представлен толщей глин; второй – сильно закарстованными доломитами, трещины которых заполнены глиной; третий слой – плотные породы (доломит, ангидрит, гипс). Результатом работы программы «Зонд 2.0» являются геоэлектрические разрезы (рис. 12).

Повышенные значения сопротивлений в верхней толще геоэлектрического разреза могут быть связаны с уменьшением глинистости пород, а во втором и третьем слое – с наличием участков более плотных пород. Низкие сопротивления в последних двух слоях могут характеризовать зоны наиболее трещиноватых пород, залеченных глинистым материалом. Используя это допущение, можно предположить следующее:

– участок с карстовой полостью, предполагаемой по данным гравиметрических исследований 2014 г. (рис. 13), совпадает с зоной повышенных сопротивлений. Аномалия по результатам интерпретации прослеживается до глубины около 35 м.

– местоположение пикета № 403, вблизи которого наблюдаются наиболее высокие сопротивления, в плане соответствует центру грота «Эфирный» Кунгурской пещеры. Однако, вероятно, причиной этой аномалии является не сам грот, а система вертикальных каналов и трещин, образующая своеобразный «ореол» малых карстовых форм в покрывающей толще.

–

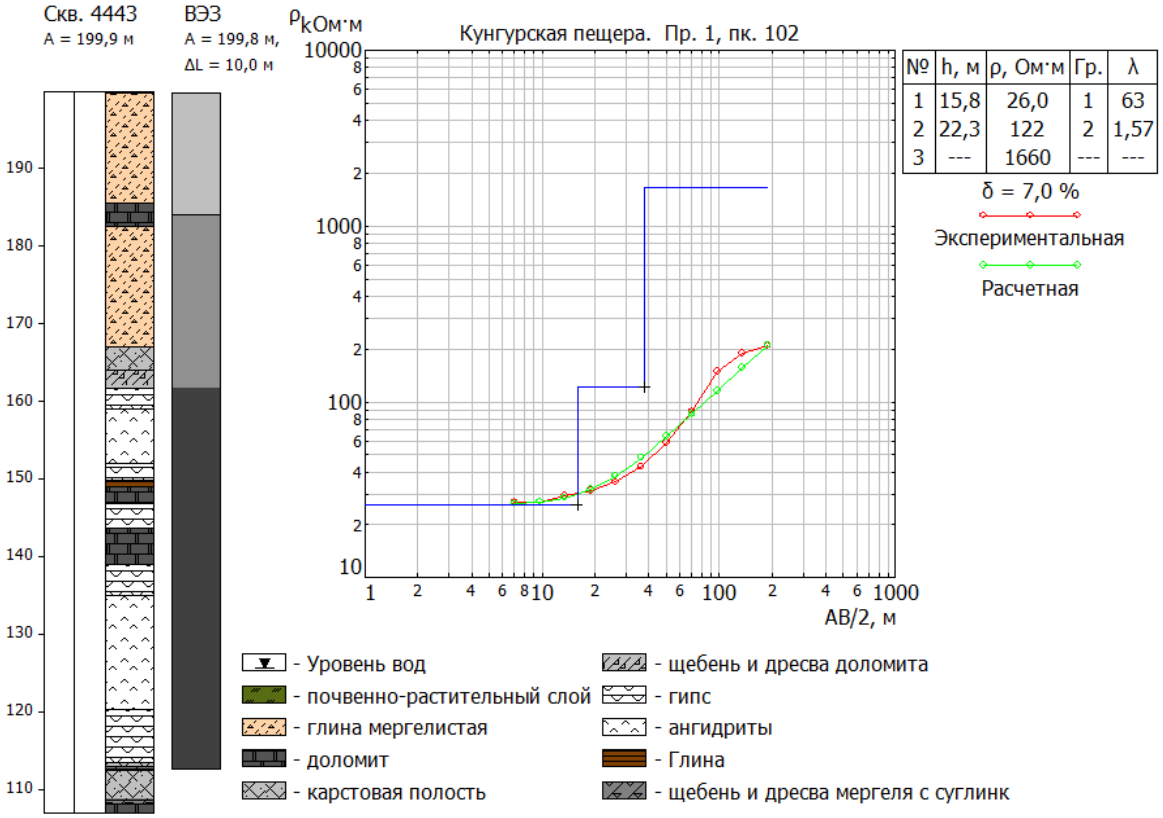


Рис. 11. Результат количественной интерпретации параметрического зондирования

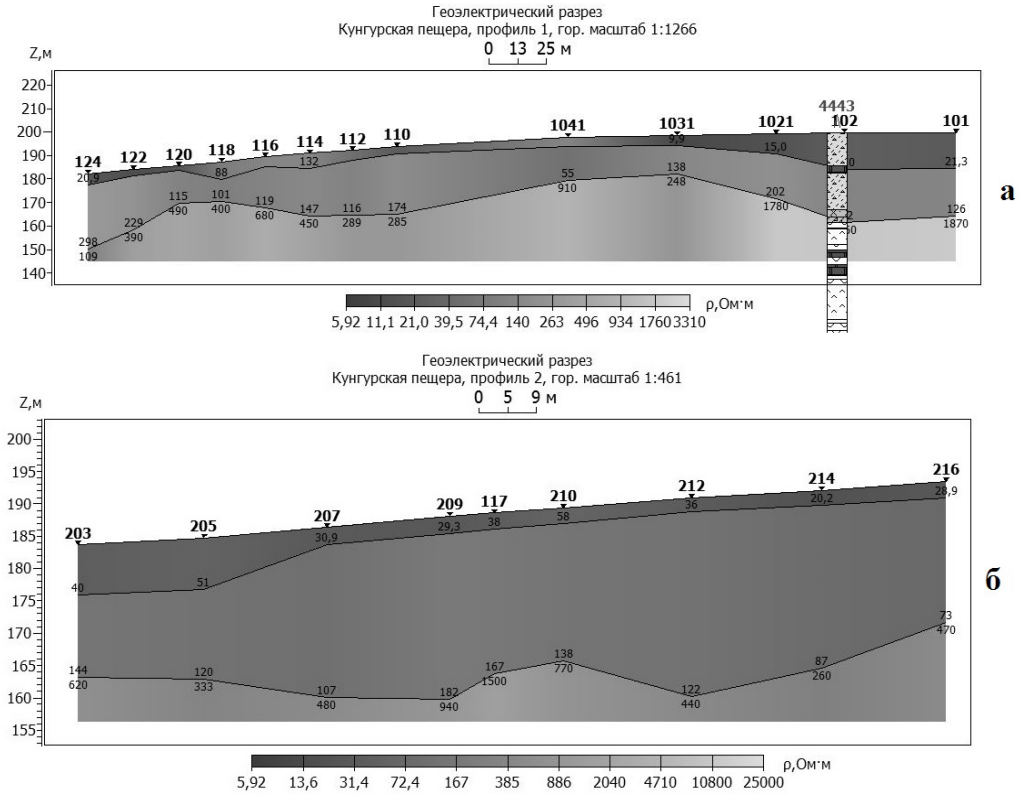


Рис. 12. Геоэлектрический разрезы. Профиль 1 (а), профиль 2 (б)

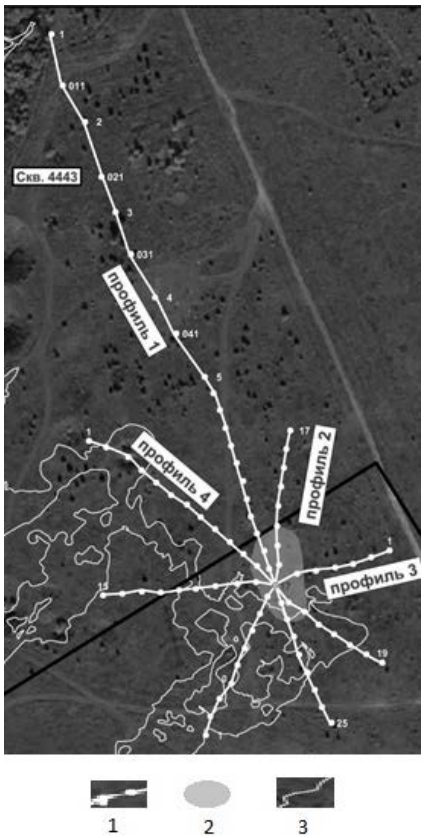


Рис. 13. Расположение точек наблюдения ВЭЗ на изучаемой территории
1 – профили ВЭЗ; 2 – предполагаемая карстовая аномалия;
3 – контур Кунгурской пещеры

Одной из составляющих геофизического комплекса являлись ***сейсморазведочные наблюдения***. Профильные линии располагались непосредственно над Ледяной пещерой, над предполагаемой карстовой полостью, и над частью массива, предположительно не затронутой карстово-суффозионными процессами. В общей сложности отработанно 10 сейсморазведочных профилей общей протяженностью 940 м (см. рис. 3). Применялась центральная ассиметрично-симметричная система наблюдений с раскрытием и закрытием, шаг между пунктами возбуждения выбран равным шагу между пунктами приема и составлял 2 м, база наблюдений – 94 м, количество каналов – 48. В качестве источника возбуждения упругих колебаний использовалась кувалда весом 5 кг, а регистрация осуществлялась с помощью сейсмоприемников типа GS-20DX и многоканального телеметрического сейсмоакустического регистратора IS48.03.

Сейсморазведочные данные обрабатывались в рамках метода преломленных волн (МПВ) и метода отраженных волн (МОВ). Ввиду наличия в области первых вступлений эффектов, связанных со сложными сейсмогеологическими условиями (смена полярности записи, появление кратных колебаний, криволинейность осей синфазности, высокий уровень помех на каналах близких к пунктам возбуждения и др.), обработка сейсмических данных с позиций МПВ не дала ожидаемых результатов. Поэтому ведущую роль играла обработка и интерпретация в рамках МОВ, с использованием программного комплекса SPS-PC. Применялся стандартный граф обработки. Литологическая привязка отражающих горизонтов осуществлялась с использованием данных по скважине № 4443. Установлено, что ледянопещерская пачка иренского горизонта, в пределах которой залегает Кунгурская пещера, залегает на глубинах 61-91.8 м [3]. Моделирование показало, что целевые отложения от кровли пачки прослеживаются в интервале времен 78-108 мс (рис. 14).

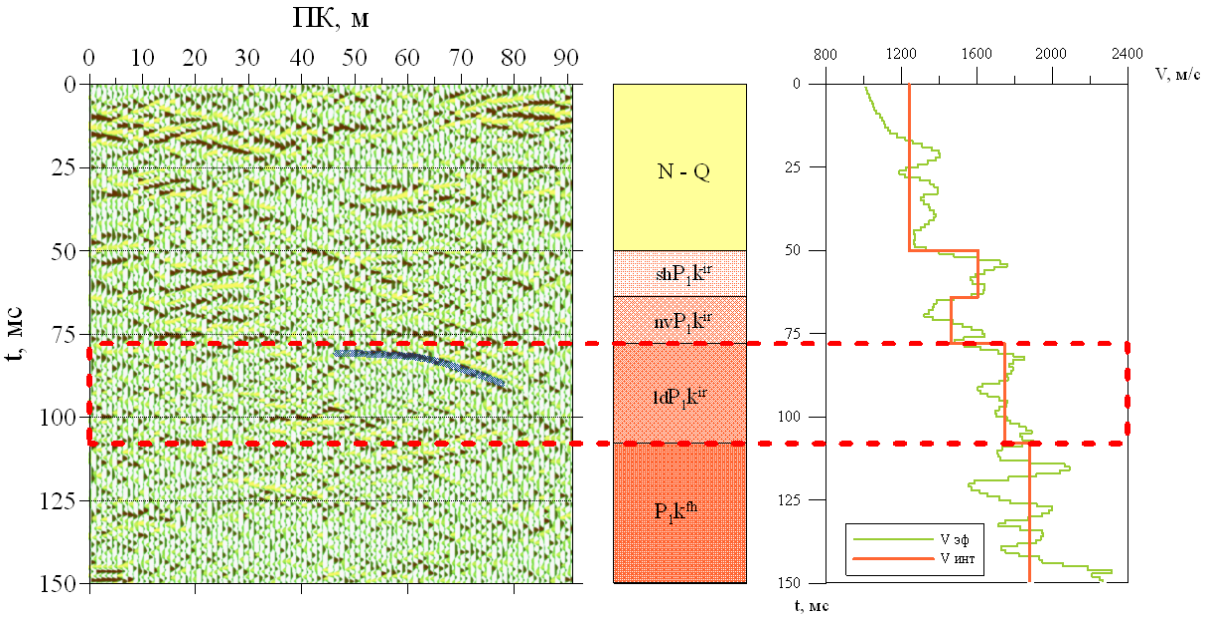


Рис. 14. Суммарный временной разрез и скоростной закон при сопоставлении с данными бурения скважины

Анализ полученных временных разрезов говорит о сложных сейсмогеологических условиях в пределах изучаемой площади – отсутствуют выдержанные оси синфазности, отчетливо проявляется выклинивание отражающих горизонтов, ярко выражен эффект поглощения, отмечается потеря корреляции записи. Также сложность выделения карстовых полостей при анализе временных полей обусловлена достаточно большой глубиной залегания гротов и галерей пещеры и их небольшими размерами, сопо-

ставимыми с предельными размерами разрешающей способности метода как по вертикали, так и по горизонтали. Для примера на рис. 14 приведен временной разрез вдоль профильной линии, пересекающей грот Дружбы Народов (пикеты 20-43) и грот Эфирный (ПК 46-75). На временном разрезе в исследуемом интервале времен отчетливо проявляется отражающий горизонт, предположительно соответствующий своду грота Эфирный, грот Дружбы Народов во временном поле не прослеживается.

Учитывая вышеприведенные сложности локализации целевых объектов, применена динамическая интерпретация данных сейсморазведки. При этом подходе вычисляются динамические характеристики – совокупности зависимостей, определяющих характер колебаний частиц среды во времени или в пространстве при распространении волн [6]. Данный подход позволяет извлекать максимальное количество информации из наблюденных данных. Также специалистами установлено, что разрешающая способность при использовании динамических атрибутов выше, чем при использовании кинематических [6].

На этапе динамической интерпретации определены такие атрибуты сейсмической записи, как амплитуда колебаний, частота спектрального центроида, частота максимума спектра, ширина спектра, отношение сигнал/помеха. На основе полученных данных рассчитаны коэффициент поглощения и декремент поглощения. При этом наиболее информативной оказалась амплитуда колебаний, определенная в скользящем окне.

Для дальнейшего решения задачи выделения на качественном уровне участков проявления карста в пределах исследуемой территории принято решение о конструировании комплексного атрибута [4], рассчитанного по амплитуде колебаний, соотношению сигнал/помеха и коэффициенту поглощения. При этом указанные динамические атрибуты анализируются в зонах известного развития карстовых полостей и уже по известному комплексу признаков определяются зоны с подобным распределением параметров. Выявление участков, обусловленных наличием в разрезе карстовых полостей, проводилось путем сопоставления суммарных временных разрезов, схем распределения амплитуд колебаний и схем распределения соотношения сигнал/помеха. В качестве примера, на рисунке представлена схема распределения амплитуд колебаний по одному из профилей, в координатах ПК – альтитуда, интервал абсолютных отметок при этом соответствует интервалу залегания ледянопещерских отложений (рис. 15). На данной схеме, помимо грота Эфирного, также проявляется отражение от свода грота Дружбы Народов.

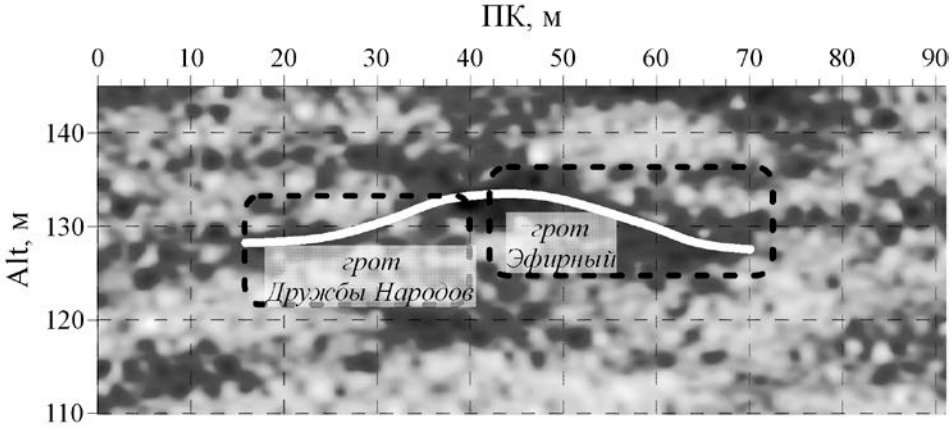


Рис. 15. Распределения амплитуд колебаний вдоль линии профиля

На заключительном этапе по совокупности признаков, выделенных в различных атрибутах сейсмической записи, локализованы области, которые могут быть обусловлены наличием карстовых полостей (рис. 16). Видно, большинство выделенных участ-

ков соответствуют плану Кунгурской пещеры. Также выделяется зона в области, выделенной по данным гравиметрических наблюдений 2014 года. Кроме того, выделяются предположительно ослабленные вне контура пещеры.

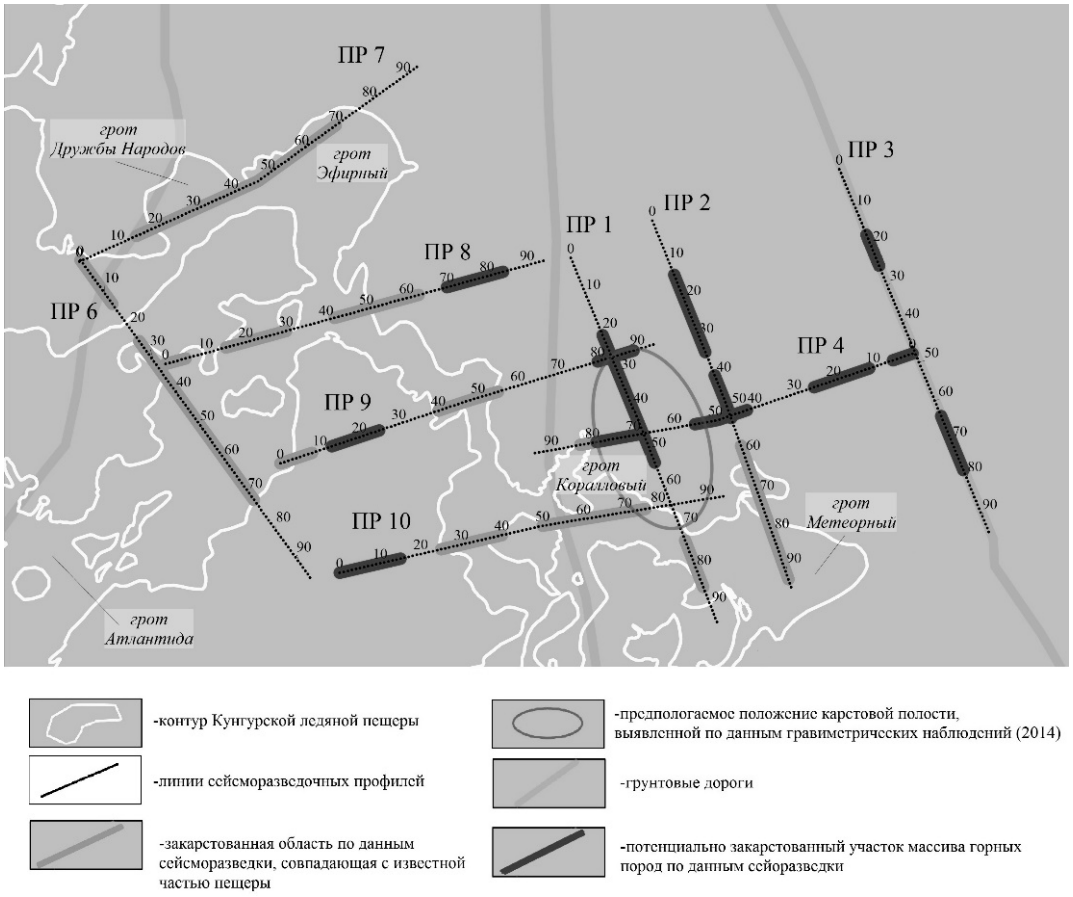


Рис. 16. Схема результатов интерпретации данных сейсморазведки

Гравиметрическая съемка производилась гравиметром Autograv CG-5 по предварительно подготовленным профилям (см. рис. 3) по методике однократных измерений со стопроцентным повторением. Съемка проводилась в едином условном уровне с измерениями 2014 года [5]. Среднеквадратическая погрешность единичного наблюдения с гравиметрами составила 0.004 мГал.

В результате текущей обработки получен каталог значений аномалий силы тяжести в редукции Буге. При вычислении нормального поля, вводе поправок за высоту и промежуточный слой использовались координаты и высоты геофизических пунктов, определенные в результате топографической съемки с электронным тахеометром и навигационным оборудованием. Новые материалы дополнили результаты съемки 2014 года, позволив сформировать единую цифровую модель с детализацией в окрестности ранее выделенной локальной аномалии. Последующая обработка заключалась в построении трансформант: преобразования Саксова-Ниггарда, а также с использованием истокообразных аппроксимаций – приближения поля системой потенциальных гармонических функций (аппроксимационное продолжение поля в верхнее полупространство) [1]. Результаты трансформаций представлены на рисунке (рис. 17).

Отрицательная аномалия над предполагаемой полостью практически не изменила свою амплитуду и горизонтальные размеры, что может говорить об отсутствии быстрой динамики в развитии карстовой полости.

Таким образом, для изучения массива Ледяной горы применялся комплекс геофизических методов, состоящий из сейсморазведочных, электроразведочных, магниторазведочных, радиометрических, а также повторно проведенных гравиметрических наблюдений. Стоит отметить, что интерпретация метода ВЭЗ преимущественно затронула верхнюю часть разреза до глубины ~40 м, в то время как сейсморазведка позволила изучить большую часть массива, включающую породы ледянопещерской пачки.

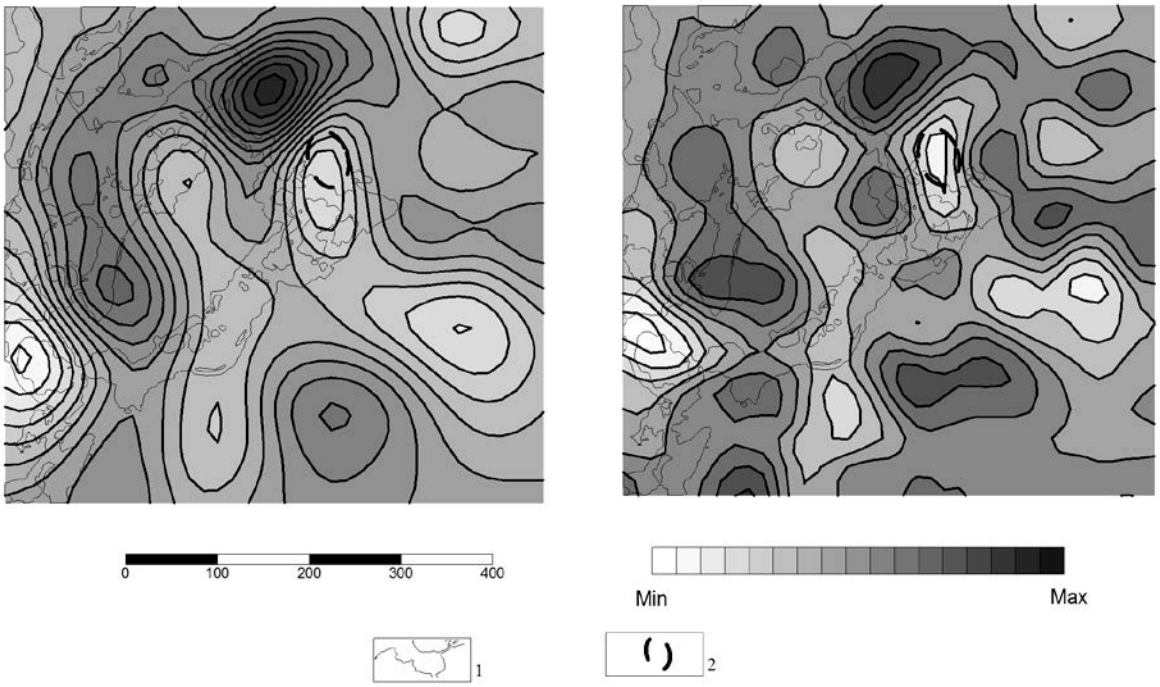


Рис. 17. Трансформанты гравитационного поля: слева – аномалии силы тяжести, редуцированные на горизонтальную плоскость на высоту h = 205 м; справа – результат преобразования Саксова-Ниггарда (размеры окон 25×25 и 45×45 м). 1 – контур Кунгурской ледяной пещеры; 2 – контур предполагаемой карстовой полости

В результате обработки и интерпретации данных гравиметрических наблюдений определено, что отрицательная аномалия, предположительно обусловленная карстовой полостью, не изменила свою форму и амплитуду, что свидетельствует об отсутствии интенсивных плотностных изменений массива за период с 2014 по 2016 год. Аномалии физических параметров среды в данной области отмечаются также по данным сейсморазведки и электроразведки. Применение электроразведки позволило выделить зону повышенных значений кажущегося сопротивления в месте предполагаемой карстовой полости. Если полость в данном месте существует, то ее обводнение маловероятно. Интерпретация магнитометрических данных затруднена в силу наличия магнитных помех. На данном этапе магниторазведка не принесла полезной информации о разрезе, однако позволила внести некоторую ясность в вопрос с техногенной электромагнитной помехой. В результате гамма-съемки над предполагаемой полостью зафиксированы в целом пониженные значения естественной радиоактивности, диапазон изменений которой в пределах участка незначителен.

Авторы выражают благодарность своим научным руководителям – Герасимовой Ирине Юрьевне, Пугину Алексею Витальевичу и сотруднику ГИ УрО РАН Тайницкому Александру Александровичу за конструктивное обсуждение результатов работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических параметров и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ / В.И. Аронов. – М.: Недра, 1990.
2. Кадебская О.И. Литологический разрез Ледяной горы / О.И. Кадебская, Т.А. Калинина // Комплексное использование и охрана подземных пространств: материалы международной научно-практической конференции. – Пермь, ГИ УрО РАН, 2014. С. 23-24.
3. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В.Н. Дублянского. – Екатеринбург: ГИ УрО РАН, 2005.
4. Крылаткова Н.А. Атрибуты сейсмических волновых полей и их использование при решении задач инженерной геологии: Дис. канд. геол.-мин. наук: 25.00.10 / ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет». – Екатеринибург, 2008. – 102 с.
5. Пугин А.В. Опытно-методические геофизические работы на территории историко-природного комплекса «Ледяная гора и Кунгурская ледяная пещера» / А.В. Пугин [и др.] // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 191-197.
6. Спасский Б.А. Сейсмостратиграфия: учебно-методическое пособие / Б.А. Спасский, И.Ю. Герасимова. Пермский университет, Пермь, 2007. – 267 с.

COMPLEX GEOPHYSICAL RESEARCH OF LEDYANAYA MOUNTAIN KARST MASSIF

Vladislav A. Voroshilov, Ilya A. Seletkov, Filipp A. Tikhomirov
Perm State University, Perm
Vlad13a@gmail.com, seletkov.ilya@gmail.com, happystudent10@gmail.com

Abstract. Ledyanaya Mountain is located in the neighbor of Kungur town (Perm region, Russia) and along with famous Kungur Ice cave represents a unique historical and natural complex that also contains many minor cavities grown therefore to karst-suffosion processes. In August 2016, five geophysical methods (magnetometry, microgravity, vertical electrical sounding, seismic survey and radiometrics) were applied to investigate geological structure of Ledyanaya Mountain near karst cavity proposed from microgravity in 2014. Society of Exploration Geophysicists supported these works financially under Field Camp «Karst Scene Investigation», and all geophysical data was available at open access. The article presents the first results of combined data interpretation to prove or to disprove the presence of proposed karst cavity.
Key words: Ledyanaya Mountain, karst cavity, microgravity, vertical electrical sounding, seismic survey, magnetometry, radiometrics

УДК 53, 550.8.05

СПЕКТРАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Габбасов Эмиль Ильдарович
СПбГУ, Санкт-Петербург
gabbasov.ie@gmail.com

Аннотация. В работе описываются методы интерполяции свойств геофизического поля в межскважинное пространство при помощи спектрального моделирования. В первой части даны предварительные методы обработки кривых ГИС и их аппроксимация. Далее при помощи метода обратных взвешенных расстояний и линейных методов интерполяции выполняется распространение геофизических свойств в межскважинную область.

Ключевые слова: спектральное моделирование, преобразование Фурье, полиномы Лежандра, вейвлет-анализ, метод главных компонент

Аппроксимация форм каротажа

Пусть $f(x)$ – исходная кривая ГИС. Предварительно каждый каротаж, участвующий в моделировании подвергается сглаживанию так, чтобы его квадрат мог быть интегрирован с некоторым весом $h(x)$:

$f(x) \in (a;b)$;

$\int_a^b h(t)f(t)P_n(t)dt$;

$f(x) \in L^2(a;b)$.

На данном этапе производится разложение кривых ГИС в ряд по полиномам Лежандра:

$$f(x) = \sum_0^\infty a_n P_n(x),$$

где P_n – полиномы Лежандра, которые задаются следующим рекуррентным соотношением:

$$P_0 = \sqrt{\frac{1}{2}}\,, P_1 = \sqrt{\frac{3}{2}}\,x,$$

$$\frac{n+1}{\sqrt{(2n+1)(2n+3)}}P_{n+1}(x) = xP_n(x) - \frac{n}{\sqrt{(2n-1)(2n+1}}P_{n-1}(x),$$

а a_n – коэффициенты разложения:

$$a_n = \int_a^b h(t)f(t)P_n(t)dt,\ n = 0,1,\dots$$

$h(t) = 1$.

Предварительно все кривые нормируются к интервалу [-1;1], так как полиномы Лежандра ортогональны именно на этом отрезке, также учитывается инклинометрия скважин.

Экстраполяция геофизических характеристик в межскважинное пространство

Полученные выше коэффициенты разложения интерполируются в неразбуренную область линейными интерполяторами типа:

$$Z(x) = m(x) + R(x),$$

где $Z(x)$ – величина оцениваемого параметра, $m(x)$ – его математическое ожидание, $R(x)$ – компонента невязки.

Для нахождения вероятностных характеристик оцениваемых величин, выполняется метод К-соседей. Алгоритм метода следующий:

- вычисление расстояний D_i от исследуемой точки до скважин;
- сортировка массива расстояний по возрастанию;

– выбор количества скважин, участвующих в оценке;
– вычисление математического ожидания *M*:

$M = \sum_i^K F_i L_i / \sum_i^K L_i$,

где $L_i = D_k - D_i$, D_k – расстояние до самой дальней скважины. Данный алгоритм проделывается для каждого коэффициента разложения.

На выходе метода К-соседей мы имеем представления о математическом ожидание и дисперсии в области моделирования, которые в дальнейшем используются для оценки всех коэффициентов во всей области моделирования.

В заключении выполняется обратное преобразование по коэффициентам, что дает распределение свойств в неразбуренной области.

SPECTRAL MODELING OF GEOPHYSICAL FIELDS

Emil I. Gabbasov
SPbU, St. Petersburg
gabbasov.ie@gmail.com

Abstract. Interpolation methods of geophysical field properties in interwell space using spectral modeling are described in the paper. Preliminary methods of GIS curves fitting and their assumption are given in the first part. Next, using Inverse Distance Weights method and linear interpolation techniques geophysical properties distributes into the interwell space.
Key words: spectral modeling, Fourier transform, Legendre polynomials, Wavelet-analysis, Distance Weights method

УДК 004.03

ПРИНЦИП РАБОТЫ АЦП С РАЗРЯДНОСТЬЮ В 24 БИТА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РЕГИСТРИРУЮЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ GURALP

Галин Айнур Жамилович, Петров Сергей Александрович
ООО «ДСис», г. Обнинск
sales@dsys.ru

Аннотация. Рассматривается АЦП с разрядностью в 24 бита на базе современных регистраторов производства компании *Guralp* для сейсмометров в стационарных и временных сейсмологических наблюдениях, при проведении разномасштабного мониторинга – локального, регионального, телесейсмического.
Ключевые слова: АЦП, разрядность, сигма-дельта АЦП, регистратор

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) – один из самых важных электронных компонентов в измерительном и тестовом оборудовании. АЦП преобразует напряжение (аналоговый сигнал) в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные действия.

Основные характеристики АЦП:

– Разрешение АЦП – минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным АЦП. Обычно измеряется в вольтах.

– Разрядность АЦП – характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. Измеряется в битах. Например, АЦП, способный выдать $\mathbf{2^{24}=16\ 777\ 216}$ дискретных значений (0..16777216), имеет разрядность 24 бита.

– Разрешение по напряжению равно разности напряжений, соответствующих максимальному и минимальному выходному коду, делённой на количество выходных дискретных значений.

– Дискретизация сигнала – измерительное преобразование непрерывного сигнала $x(t)$ в последовательность мгновенных значений этого сигнала $X(k_iT)$, соответствующих определенным моментам времени k_iT (T – шаг дискретизации).

– Частота дискретизации – частота, с которой производится аналого-цифровое преобразование сигнала.

– Время преобразования – время от начала преобразования до появления на выходе АЦП соответствующего кода.

– Опорное напряжение – напряжение, соответствующее максимальному выходному коду.

Существует несколько основных типов архитектуры АЦП, хотя в пределах каждого типа существует также множество вариаций (рис.1). Различные типы измерительного оборудования используют различные типы АЦП. Например, в цифровом осциллографе используется высокая частота дискретизации, но не требуется высокое разрешение. В цифровых мультиметрах нужно большее разрешение, но можно пожертвовать скоростью измерения. Системы сбора данных общего назначения по скорости дискретизации и разрешающей способности обычно занимают место между осциллографами и цифровыми мультиметрами. В оборудовании такого типа используются АЦП последовательного приближения, либо сигма-дельта АЦП. Существуют также параллельные АЦП для приложений, требующих скоростной обработки аналоговых сигналов, и интегрирующие АЦП с высоким разрешением и помехоподавлением.

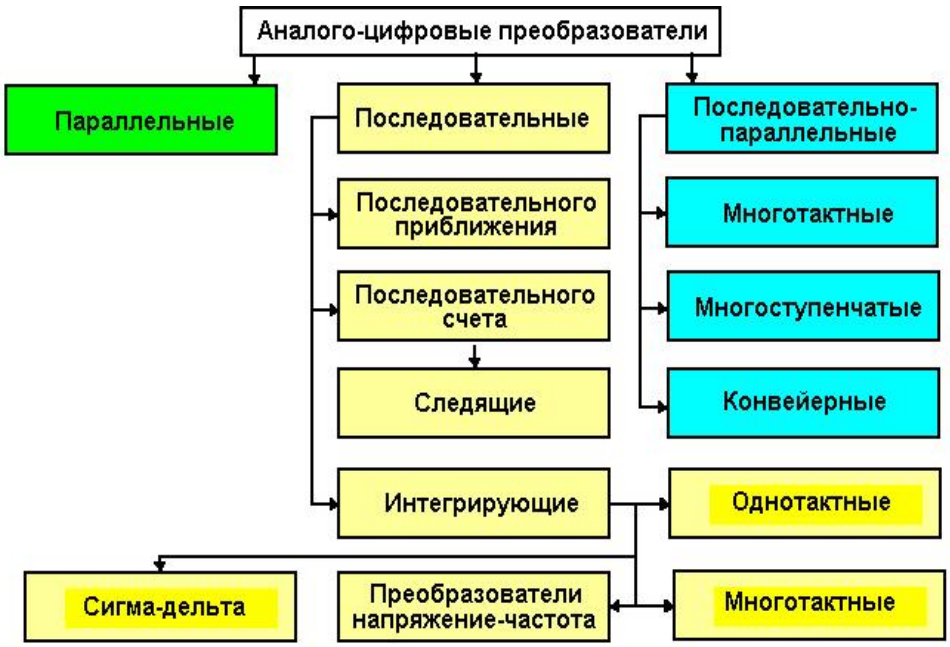


Рис. 1. Типы архитектур АЦП

Сигма-дельта АЦП

Обычно сигма-дельта АЦП применяются в разнообразных системах сбора данных и в измерительном оборудовании (измерение давления, температуры, веса и т.п.), когда не требуется высокая частота дискретизации и необходимо разрешение более 16 разрядов.

Принцип работы сигма-дельта АЦП сложнее для понимания. Эта архитектура относится к классу интегрирующих АЦП. Но основная особенность сигма-дельта АЦП состоит в том, что частота следования выборок, при которых собственно и происходит анализ уровня напряжения измеряемого сигнала, существенно превышает частоту появления отсчетов на выходе АЦП (частоту дискретизации). Эта частота следования выборок называется частотой передискретизации. Так, сигма-дельта АЦП со скоростью преобразования 10^5 отсчетов/с, в котором используется частота передискретизации в 128 раз больше, будет производить выборку значений входного аналогового сигнала с частотой $12.8 \cdot 10^6$ отсчетов/с.

Структурная схема сигма-дельта АЦП приведена на рисунке (рис. 2). Аналоговый сигнал подается на интегратор, выходы которого подсоединены к компаратору, который, в свою очередь, присоединен к 1-разрядному ЦАП в петле обратной связи. Путем серии последовательных итераций интегратор, компаратор, ЦАП и сумматор дают поток последовательных битов, в котором содержится информация о величине входного напряжения.

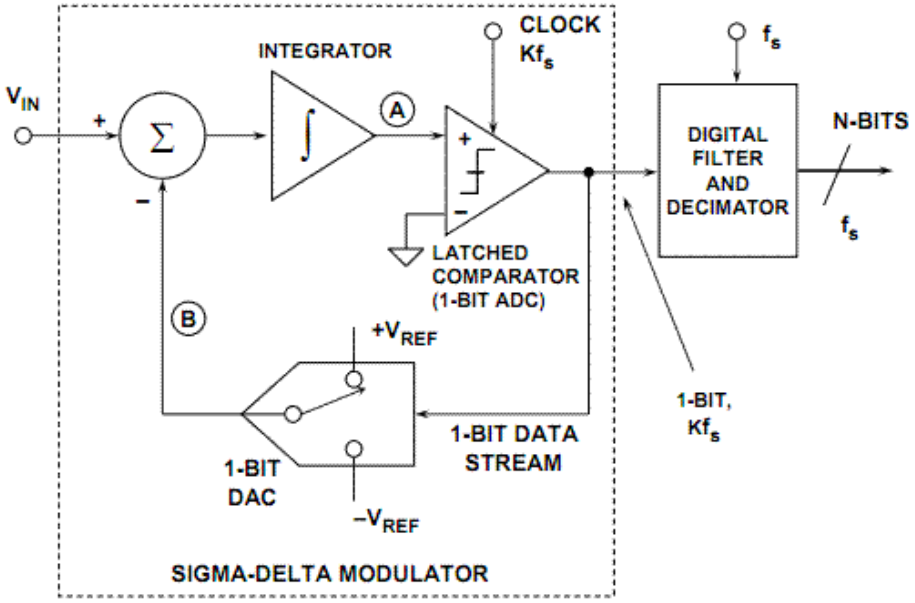


Рис. 2. Структурная схема сигма-дельта АЦП

Результирующая цифровая последовательность затем подается на фильтр нижних частот для подавления компонентов с частотами выше частоты Котельникова (она составляет половину частоты дискретизации АЦП). После удаления высокочастотных составляющих следующий узел – дециматор – прореживает данные. В рассматриваемом нами АЦП дециматор будет оставлять 1 бит из каждых полученных 128 в выходной цифровой последовательности.

Так как внутренний цифровой ФНЧ в сигма-дельта АЦП представляет собой неотъемлемую часть для осуществления процесса преобразования, время установления ФНЧ становится фактором, который необходимо учитывать при скачкообразном изменении входного сигнала. Например, при переключении входного мультиплексора или

при переключении предела измерения прибора необходимо подождать, пока пройдут несколько отсчетов АЦП, и лишь потом считывать корректные выходные данные.

Для проведения большинства измерений часто не требуется АЦП со скоростью преобразования, которую даёт АЦП последовательного приближения, зато необходима большая разрешающая способность. Сигма-дельта АЦП могут обеспечивать разрешающую способность до 24 разрядов, но при этом уступают в скорости преобразования. Так, в сигма-дельта АЦП при 16 разрядах можно получить частоту дискретизации до 10^5 отсчетов/с, а при 24 разрядах эта частота падает до 10^3 отсчетов/с и менее, в зависимости от устройства.

В нашем случае, при входном сигнале на АЦП ±10 В с частотой 100 Гц получим результат с точностью до 1 мкВ, которой достаточно для получения результатов мониторинга сейсмоактивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал «Компоненты и технологии». № 3'2005. Wolfgang Reis, WBC GmbH.
2. Вставская Е. Программирование микроконтроллеров / Е. Вставская [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www. prog-cpp.ru
3. Руденко А.В. Основные типы АЦП / А.В. Руденко. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

OPERATING PRINCIPLE OF 24-BIT ADC USED IN GURALP EQUIPMENT

Ainur Zh. Galin, Sergey A. Petrov
DesignSystems, LLC, Obninsk
sales@dsys.ru

Abstract. ADC with 24-bit resolution used in digitizer manufactured by Guralp Systems is considered in this paper. Digitizers are used for permanent and temporary seismological observations, within local, regional and teleseismic monitoring.

Key words: ADC resolution, sigma-delta ADC, digitizer

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.34:551.24

О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ МАГНИТУД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АНАТОЛИЙСКО-КАВКАЗСКО-ИРАНСКОГО РЕГИОНА

Гаспарян Амлет Сергеевич, Оганесян Амаяк Оганесович,
Саргсян Рудольф Суренович, Авдалян Арман Грачович
ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Республика Армения
hamlet1952@mail.ru, hmayak.hovhannisyan@bk.ru
rudolf90sargsyan@gmail.com, arman.avdalyan.1981@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы различия сейсмотектонического потенциала между отдельными частями Анатолийско-Кавказско-Иранского региона. Доказано, что одной из основных причин этого является различная степень тектонической расчлененности.
Ключевые слова: сейсмотектонический потенциал, очаговая зона, магнитуда, разлом

Вопрос об уровне сейсмотектонического потенциала очаговых зон сильных землетрясений на территории Кавказа и их сравнительной характеристике с очаговыми зонами сопредельных регионов ставился неоднократно. Однако, единого, более или менее научно-обоснованного ответа на этот вопрос до сих пор не найдено.

На первый взгляд, казалось бы, никакой разницы между максимальными значениями магнитуд сильных землетрясений в разных частях Анатолийско-Кавказско-Иранского региона не должно быть, поскольку они все входят в единую Средиземноморскую сейсмоактивную зону. Однако сравнительный анализ показывает, что сейсмотектонический потенциал очаговых зон Кавказа на единицу ниже уровня Анатолийских и Иранских очаговых зон. Действительно, сейсмостатистические данные свидетельствуют, что магнитуда кавказских землетрясений не превышает 7.1, а в последние сто с лишним лет произошло всего десять землетрясений с M = 6.0 ÷ 7.1. Между тем в пределах Анатолии и Ирана произошли многочисленные катастрофические землетрясения, магнитуда которых доходила до 8.0.

По Г.И. Рейснеру [1] различие между ними состоит в том, что Большой Кавказ, с одной стороны, и Малый Кавказ со смежными частями Анатолии, с другой, принадлежат различным геотектоническим зонам области альпийской складчатости – внешней и внутренней. Эти зоны отличались на альпийском этапе развития различной степенью подвижности и характером проявления вулканизма, разным типом соотношений новейшего и более древнего тектонического планов, степенью переработки последнего. Следовательно, высокий уровень сейсмичности Анатолии может быть обусловлен не только степенью подвижности этой территории на новейшем этапе, но и характером ее геологического развития на различных этапах альпийского цикла.

По мнению же В.В. Белоусова и В.Н. Шолпо [2], в генерации землетрясений с различными уровнями энергии существенная роль принадлежит температуре земной коры. В таких эпигеосинклинальных орогенах, как Кавказ и Анатолия, земная кора еще не вполне остывшая, и поскольку предел прочности пород понижается с повышением температуры, то можно думать, что землетрясения в этих регионах должны быть слабее, чем в эпиплатформенных орогенах (Тянь-Шань и др.).

По мнению авторов работы [3] на Кавказе максимально возможные землетрясения могут иметь магнитуду примерно 6.5. При этом M_{max} зависит от размеров блоков с однородной тектонической обстановкой, а так как на Кавказе размеры таких блоков не

велики, то более сильных землетрясений там не может быть. Однако, произошедшие в 1988 г. в Армении (Спитак) и в 1991 г. в Грузии (Джава) землетрясения с M ÷ 7.0 и 7.1 показали, что мнение этого автора о максимальном уровне сейсмотектонического потенциала Кавказского региона несколько ошибочное, хотя подход к решению проблемы, на наш взгляд, верный.

Проведенный сравнительный анализ сейсмотектонических обстановок Кавказа и Средней Азии привел авторов работы [2] к заключению, что разница в уровнях потенциальной сейсмичности этих регионов обусловлена степенью их тектонической расчлененности. Такого же мнения придерживается и Ю.К. Щукин [4], справедливо отмечая, что в более крупных по объему очаговых зонах Средней Азии землетрясения более редки и более сильны, чем в очагах Кавказа. Простое рассмотрение различных тектонических карт и схем, а также данных о плотностях распространения разломов и космических линеаментов Анатолийско-Кавказско-Иранского региона показывают, что по сравнению с Анатолией и Ираном Кавказский регион отличается более высокой степенью раздробленности земной коры. Такая разница в строениях регионов, по-видимому, обусловлена занимаемыми этими регионами различными тектоническими позициями в общей структуре Средиземноморской складчатой зоны, подвергающейся общему субмеридиональному сжатию со стороны Евразийской и Аравийской плит [8]. При таком распределении тектонических напряжений в Ирано-Анатолийской зоне их разрядка должна быть связана со сжатием и образованием сдвигов (с подчиненной вертикальной составляющей), и потенциальная сейсмичность здесь закономерно выше ($M \geq 8$), чем на Кавказе ($M \leq 7.5$), где господствуют вертикальные движения. О справедливости такого заключения свидетельствуют также данные тех же авторов о направлениях и скоростях горизонтальных перемещений разных точек земной коры Анатолийско-Кавказского региона, полученных по наблюдениям GPS [8]. Хорошим фактическим примером этого может служить сейсмотектонический разрыв, образованный при Спитакском землетрясении 1988 г., который представляет взбросо-сдвиг с максимальной вертикальной амплитудой в 2.5 м и горизонтальной – 1.5 м.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что одним из основных геологических критериев, контролирующих сейсмотектонический потенциал землетрясений Кавказа, является занимаемая им тектоническая позиция в общей структуре Средиземноморской складчатой зоны.

Другим важным критерием является степень тектонической расчлененности территории, выяснению роли которой во многом может способствовать применение сейсмотектонической модели «очаг-объем», дающей более реальное представление о геологической обстановке и физических условиях развития механизма очага землетрясения. При таком понимании природы очага землетрясения следует, что величина накопившихся напряжений и энергия будущего сейсмического толчка должны зависеть от размеров этого объема. Геологически это означает, что должна существовать связь между степенью раздробленности земной коры и энергией происходящих землетрясений, и что размеры структур (блоков), где локализуются очаги землетрясений, представляют максимальный уровень сейсмической интенсивности.

О блоковой структуре Кавказского региона и Армении, в частности, свидетельствуют многочисленные работы различных исследователей этого региона. Одной из них является работа [5], выполненная в ИГИС НАН РА в последние годы. Для построения структурной модели земной коры в этой работе были использованы результаты трехмерной количественной интерпретации гравитационного поля в комплексе с данными ГСЗ, сейсмологии и других геофизических полей. В качестве показателей динамичности этих структур были приняты не только геолого-геоморфологические, геофизические, сейсмологические, геодезические и геотермические признаки, но и по мере

возможности были использованы экспериментальные материалы, полученные при наблюдениях за вариациями гравитационного и магнитного полей, современных вертикальных и горизонтальных движений, напряженно-деформационным состоянием.

В результате комплексной интерпретации вышеуказанных данных была составлена трехмерная структурно-геодинамическая модель земной коры Армении, состоящая из комплекса схем разломно-блокового строения земной коры на трех уровнях глубин:

1. по поверхности кристаллического фундамента (до 5 км);
2. по подошве сейсмоактивного слоя в земной коре (до 20 км);
3. по границе Мохоровичича (до 45 км).

На схемах выделены системы разрывных нарушений с подразделением их на категории по размерам и глубине проникновения в земную кору. К первой категории были отнесены разломы, разграничивающие крупные тектонические блоки и имеющие глубину проникновения до 50 км или более (мантийные). Ко второй категории отнесены разломы глубиной 15-20 км, разграничивающие тектонические блоки более низких порядков и проникающие до подошвы сейсмоактивного слоя. Эти разломы подразделены на два подтипа – активные и неактивные [5]. К третьей категории отнесены разрывные нарушения, проникающие до кристаллического фундамента.

Анализ и сопоставление выделенных элементов структурно-геодинамической модели с гипоцентрией наблюденной сейсмичности позволили установить, что очаги сильных землетрясений приурочены в основном к относительно приподнятым зонам подошвы сейсмоактивного слоя, выраженным в геологическом отношении разрывными нарушениями различного ранга; зонами и контрастного сочленения структурных элементов или комплексов, различающихся историей тектонического развития, геодинамическим режимом, степенью активности новейших тектонических процессов, особенностями внутреннего строения и т.д. Исходя из этого, для проведения сейсмотектонического районирования с выделением зон ВОЗ в качестве основы была принята схема разломно-блокового строения земной коры на уровне подошвы сейсмоактивного слоя, с естественным учетом активных структурных элементов, залегающих выше этой границы [6].

Как отмечалось выше, в сейсмоактивных регионах, вследствие взаимосвязанного развития геодинамических и сейсмических процессов, очаговые зоны подчинены геометрии сейсмоактивных разломов и разграниченных ими блоков земной коры. При этом предполагается, что в крупных блоках под воздействием тектонических сил накапливается большая сумма напряжений, которые затем могут разрядиться на глубинных разломах, разделяющих блоки. В малых блоках накапливается меньшая сумма касательных напряжений и, соответственно, следует ожидать меньшую энергию упругой отдачи. Рассмотрение структурно-динамической модели сейсмоактивного слоя территории Армении (рис. 1) [5] показывает, что площади активных блоков в среднем составляют 1000-2500 км^2, а глубина их проникновения до подошвы сейсмоактивного слоя составляет 13-30 км. Следовательно, задействованный в сейсмогенных процессах минимальный объем активного блока в среднем может составлять 13000 км^3, а максимальный – 75000 км^3.

Используя эмпирическую зависимость И.П.Добровольского [7]:

$$V = 10^{1.24M-4.47}\text{км}^3, \quad (1)$$

где V – объем эллипсоида (очага), M – магнитуда землетрясения, можно рассчитать, что при максимальной магнитуде M = 7.5 объем очага может составлять $10^{4.83}$, что не достигает 1 000 000 км^3.

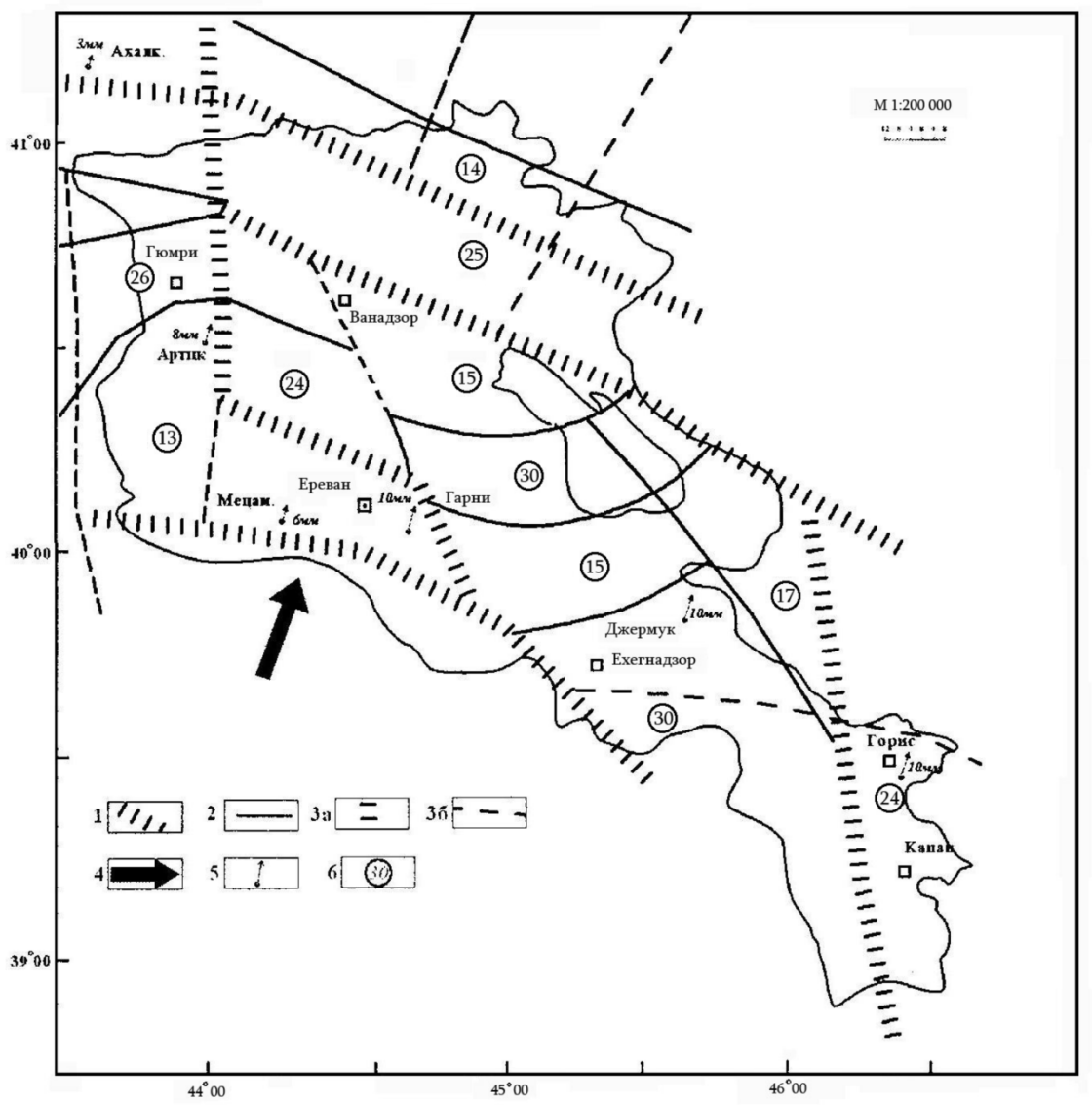


Рис. 1. Схема блокового строения сейсмоактивного слоя
1 – глубинные разломы (коровые, достигающие верхней мантии); 2 – активные разломы (внутрикоровые до 20 км, отражающиеся в рельефе); 3 – не активные разломы (внутрикоровые до 20 км); а) хорошо прослеживаемые; б) предполагаемые; 4 – направление влияния регионального напряжения; 5 – годовые горизонтальные движения (по системе GPS) [8]; 6 – значение глубины распространения блоков от уровня моря

Таким образом, проведенный выше сравнительный анализ уровней сейсмотектонического потенциала очаговых зон сильных землетрясений территории Кавказа и сопредельных регионов показал, что основными геологическими критериями их различия являются занимаемые этими регионами различные тектонические позиции в общей структуре Средиземноморской складчатой зоны и различная степень тектонической расчлененности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рейснер Г.И. Геологические методы оценки сейсмической опасности / Г.И. Рейснер. – М.: Недра, 1980. 174 с.

2. Белоусов В.В. Сейсмология и геотектоника / В.В. Белоусов, В.Н. Шолпо // Проблемы современной сейсмологии. М.: Наука, 1985. С. 47-56.
3. Борисов Б.А. Оценка максимальной магнитуды ожидаемых землетрясений по геологическим данным / Б.А. Борисов, Г.И. Рейснер // Сейсмическое микрорайонирование. М., 1977. С. 36-41.
4. Щукин Ю.К. Земная кора сейсмоопасных зон и очаги сильных землетрясений СССР / Ю.К. Щукин // Геофизические условия в очаговых зонах сильных землетрясений. М.: Наука, 1983. С. 3-40.
5. Оганесян С.М. Структурно-динамическая характеристика земной коры территории Армении по комплексу геофизических данных / С.М. Оганесян [и др.] // Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2005. LVIII, №3. С. 40-53.
6. Оганесян С.М. Выделение зон возникновения очагов землетрясений на основе сейсмологической идентификации и параметризации основных элементов структурно-динамической модели земной коры Армении / С.М. Оганесян [и др.] // Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2008. LXI, №1. С. 39-43.
7. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения / И.П. Добровольский. М.: Наука, 1991. 224 с.
8. Reilinger, R., Barka, A. GPS constraints on fault slip rates in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone: implications for earthquake recurrence times. In: Giardini, D., Balassanian, S.(Eds.), Historical and prehistorical Earthquake in the Caucasus, ILP publication 333, NATO ASI Series 28. Kluwer Academic, Dordrecht, 1997, pp. 91-108.

ABOUT COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE EDGE MAGNITUDES OF ANATOLIC-CAUCASIAN-IRANIAN REGION EARTHQUAKES

Gasparyan Hamlet, Hovhannisyan Hmayak, Sargsyan Rudolf, Avdalyan Arman
IGES NAS RA
hamlet1952@mail.ru, hmayak.hovhannisyan@bk.ru
rudolf90sargsyan@gmail.com, arman.avdalyan.1981@mail.ru

Abstract. Seismotectonic potential differences between different parts of Anatolic-Caucasian-Iranian region are discussed in the article. It is proved that one of the main reasons of such differences is different degree of tectonic segmentation.
Key words: seismotectonic potential, hypocentral zone, magnitude, fracture

УДК 550.34

ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И НОВЫЕ ДАННЫЕ

Гоев Андрей Георгиевич[1], Косарев Григорий Леонидович[2]
Санина Ирина Альфатовна[1], Ризниченко Оксана Юрьевна[2]
[1]Институт динамики геосфер РАН, Москва
[2]Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва
a.g.goev@gmail.com, kosarev@ifz.ru, irina@idg.chph.ras.ru, oksanastp@mail.ru

Аннотация. В данной работе обобщены известные сведения о строении верхней мантии центральной части Восточно-Европейской платформы на базе изучения поверхностных волн и сверхдлинных профилей. Приводятся новые данные, полученные с использованием функции приемника для сейсмических станций «Обнинск» и «Михнево», а также мобильной малоапертурной группы «Монаково».
Ключевые слова: сейсмическая станция, малоапертурная группа, функция приемника, мантия, поверхностные волны

Целью данного исследования является обобщение известных сведений о строении земной коры и верхней мантии центральной части Восточно-Европейской платформы, а также их сопоставление с новыми скоростными моделями. В работе применяются данные, полученные сейсмической станцией «Обнинск», а также малоапертурными группами «Михнево» и «Монаково» с использованием метода функции приемника [1-3].

Центральная часть Восточно-Европейской платформы является местом объединения в единый континент трех мега-блоков, архейских прото-кратонов, и ее глубинное строение представляет несомненный интерес для изучения процессов ранней геологической истории Земли. Однако, Восточно-Европейская платформа (ВЕП), особенно ее центральная часть, в настоящее время является недостаточно изученной с точки зрения особенностей глубинного строения верхней мантии и процессов ее формирования. Из-за слабой сейсмической активности на территории ВЕП не ставились задачи исследования сейсмогенерирующих структур, что сдерживало развитие сейсмической сети. На постоянной основе доступны лишь данные, полученные Геофизической обсерваторий Обнинска (OBN) и ГФО «Михнево» (MHV). Относительно глубинного строения верхней мантии в регионе имеются самые общие представления, базирующиеся, в основном, на интерполяции данных длинных профилей ГСЗ с применением мирных ядерных взрывов [4] и данных поверхностных волн [5].

Отсутствие широкой сети стационарных сейсмических станций не позволяет применить известные современные сейсмотомографические и иные методы для получения детальной пространственной модели глубинного строения региона. В тоже время, метод функции приемника позволяет получить устойчивый скоростной разрез слоистой структуры под станцией. Данная методика, основанная на обработке обменных волн, прекрасно зарекомендовала себя при исследованиях в других странах, однако, для данного региона, практически не применялась. Ее основным отличием от методики ГСЗ и КМПВ является практическое полное отсутствие горизонтального осреднения, что позволяет, вкупе с использованием данных ГСЗ, построить детальный и устойчивый скоростной разрез.

Практически единственным примером применения метода функции приемника к изучению глубинного строения ВЕП была работа [6], основанная на данных малоапер-

турной группы «Михнево». Предлагаемая работа продолжает эти исследования путем добавления новых данных, собранных обсерваторией «Михнево» за 4 года, прошедших со времени публикации работы [6] и, тем самым, увеличения количества обрабатываемых сейсмограмм в 2.5 раза. Также, по сравнению с упомянутой работой, были рассчитаны и использованы S функция приемника и данные поверхностных волн.

В результате, были получены скоростные модели до глубин 300 км для каждой из станций. Глубина верхней границы слоя пониженной скорости в мантии меняется от 120 до 150 км в зависимости от пункта наблюдения. Мощность астеносферного слоя также варьируется в диапазоне от 30 до 40 км. По данным исследования глубина границы Леман меняется от 150 до 250 км. Различия в полученных моделях могут быть объяснены как принадлежностью станций различным мегаблокам («Михнево» и «Обнинск» – Сарматия, а «Монаково» – Волго-Уралия), так иными причинами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vinnik L.P. Detection of waves converted from P to S in the mantle / L.P. Vinnik // Phys. Earth planet. Inter. 1977. – V. 15. – P. 39-45.
2. Винник Л.П. Определение параметров коры по наблюдениям телесейсмических объемных волн / Л.П. Винник, Г.Л. Косарев // Докл. АН.СССР. 1981. – Т. 261 №5. – С. 1091-1095.
3. Langston C.A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves / C.A. Langston // J. Geophys. Res, 84, 4749-4762, 1979.
4. Павленкова Н.И. Строение земной коры и верхней мантии Северной Евразии по данным сейсмического профилирования с ядерными взрывами / Н.И. Павленкова, Г.А. Павленкова // Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России», выпуск 10. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС. 2014. 192 с
5. Pasyanos M.E. LITHO1.0: an updated crust and lithospheric model of the Earth / M.E. Pasyanos [et al.] // J. Geophys. Res. 119, 2153–2173.
6. Санина И.А. Строение литосферы в зоне сочленения мегаблоков Восточно-Европейской платформы по данным функции приемника ДАН / И.А. Санина [и др.]. 2014, Т. 456, №3, С. 338–341.

UPPER MANTLE OF RUSSIAN PLATFORM. PREVIOUS RESEARCH RESULTS AND MODERN DATA.

Andrey G. Goev[1], Grigorij L. Kosarev[2], Irina A. Sanina[1], Oksana U. Riznichenko[2]
[1]Institute of Geospheres Dynamics Russian Academy of Sciences, Moscow
[2]Schmidt Institute of Physics of the Earth Russian Academy of Sciences, Moscow
a.g.goev@gmail.com, kosarev@ifz.ru, irina@idg.chph.ras.ru, oksanastp@mail.ru

Abstract. Results of previous investigations of upper mantle structure of East European Platform central part using dispersion curves of surface waves and long-range profiles are summarized in the paper. Modern data obtained using receiver function tomography for acquired data by seismic stations OBN and MHV together with mobile small-aperture array NOV are provided.

Key words: seismic station, small-aperture array, receiver function, mantle, surface waves

УДК 550.370

ДВУМЕРНАЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШИРОТНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ТОЛЩ

***Горяевчева Анастасия Александровна*[1,2]**
***Ефремова Дарья Николаевна*[1], *Оленченко Владимир Владимирович*[2]**
[1] *НГУ, г. Новосибирск*
[2]*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*
Lapkovskaya.a.a@gmail.com, OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Данная работа посвящена изучению отражения широтной зональности многолетнемёрзлой толщи в геоэлектрических полях. В процессе исследования была составлена масштабированная от реальных размеров физико-геологическая (геоэлектрическая) модель широтной зональности многолетнемёрзлой толщи. Проведено решение прямой задачи средствами программы ZondRes2D для трехэлектродной (поле-дипольной) установки. Полученные данные были верифицированы путем решения обратной задачи в программе Res2dinv.

Ключевые слова: многолетнемёрзлая толща, электротомография, удельное электрическое сопротивление, геоэлектрическая модель

В области распространения многолетнемёрзлых пород (ММП) сосредоточена обширная минерально-сырьевая база, открыты крупные месторождения самых разнообразных полезных ископаемых. Проведение работ по добыче полезных ископаемых и строительству в условиях вечной мерзлоты невозможно без изучения ее особенностей распространения и свойств многолетнемёрзлых толщ (ММТ), поэтому изучение ММТ является актуальным направлением исследований. Для получения представлений о внутреннем строении мёрзлой среды широко применяется группа методов сопротивления [4, 7, 9], к которым относится электротомография. При исследованиях методом электротомографии обратную задачу решают в рамках двумерных и трехмерных моделей [1, 2], что позволяет корректно интерпретировать результаты полевых измерений при изучении сложнопостроенных, трёхмернонеоднородных сред [9].

На распределение ММТ оказывает влияние широтная зональность. Она выражается в том, что с юга на север происходит понижение температуры мёрзлых толщ и увеличивается сплошность мерзлоты [5]. Большинство ученых выделяют три типа распространения многолетнемёрзлых толщ – сплошной тип распространения (ММП занимают более 90% площади), прерывистый (50-90%) и островной (10- 50%) [3, 5, 7, 8]. Эти типы распространения из-за различного соотношения талых и мерзлых пород по-разному отражаются в геофизических полях, в частности, на геоэлектрических разрезах.

Целью работы было проанализировать степень соответствия геоэлектрических моделей геокриологическим на примере изменения строения и свойств ММТ при смене типов распространения в широтном направлении.

Задачей наших исследований было составить масштабированную от реальных размеров физико-геологическую (геоэлектрическую) модель широтной зональности ММТ, провести решение прямой задачи и верифицировать данные путем решения обратной задачи, то есть попытаться восстановить стартовую модель разреза.

Рассмотрим модель распространения ММТ в широтном направлении (рис. 1). В модели с севера на юг наблюдается уменьшение мощности ММТ, связанное с увеличением среднегодовой температуры воздуха. Толщина ММТ колеблется от первых мет-

ров на юге до нескольких сотен метров на севере. Для северной части разреза характерно отсутствие талых зон (за исключением подрусловых и подозёрных таликов крупных водоёмов [5]). В приповерхностной части тонкий выделяется тонкий слой почвы и грунта – сезонно-талый слой (СТС), толщина которого в реальности уменьшается с юга на север. Данной геокриологической модели будет соответствовать геоэлектрическая модель, представленная на рисунке (рис. 2).

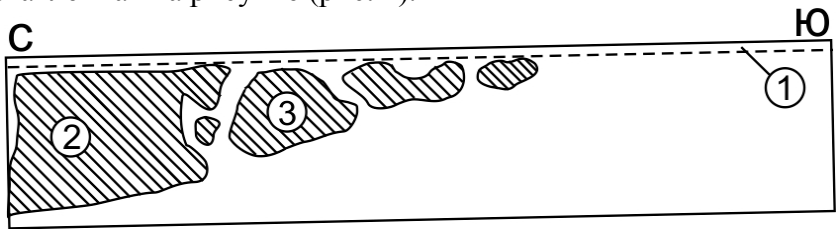


Рис. 1. Схема вертикального разреза мёрзлых толщ при движении с севера на юг [4]: 1 – слой сезонного протаивания/промерзания; 2 – современные сливающиеся толщи; 3 – современные несливающиеся толщи

Геоэлектрическая модель построена для однородной песчаной среды, с учетом данных по температуре ММТ, характерных для различных типов распространения, значения мощности взяты по данным Кудрявцева [5]. Вертикальный масштаб модели 1:5. Мощность СТС – 1-5 м (в модели 0.2-1 м), островной мерзлоты – 10-50 м (в модели 2-10 м), прерывистой мерзлоты – 50-150 м (в модели 10-15 м), сплошной мерзлоты – 150-300 м (в модели 30-60 м).

По известной зависимости сопротивления от температуры [6, 7], для песчаной толщи были взяты следующие удельные электрические сопротивления (УЭС): сопротивление вмещающей толщи – 100 Ом·м; островной мерзлоты – 1000 Ом·м (при t 0°С), прерывистой – 2000 Ом·м (при t -1°С), сплошной – 10000 Ом·м (t -4°С), сопротивление СТС – 100 Ом·м.

Для того чтобы добиться плавных, реалистичных изменений мощности ММТ в разрезе в данном масштабе, каждый тип распространения ММТ представлен протяженностью по 300 м (рис. 2).

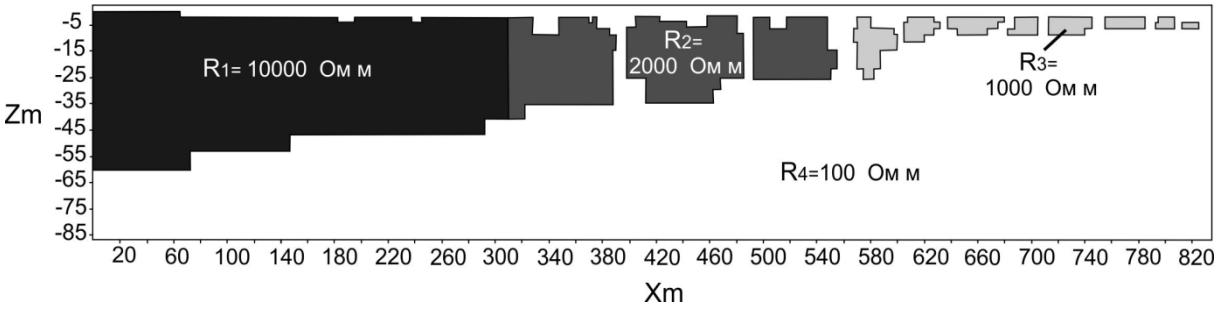


Рис. 2. Геоэлектрическая модель широтной зональности многолетнемёрзлых пород: R_1 – УЭС сплошной ММТ; R_2 – УЭС прерывистой ММТ; R_3 – УЭС островной ММТ; R_4 – УЭС вмещающей толщи ММТ

Для расчета прямой задачи была использована программа ZondRes2D. В качестве измерительной установки применялась трехэлектродная (поле-дипольная) установка, как одна из наиболее часто применяемых на практике [2]. Расстояние между электродами было задано 5 м, протяженность разреза – 825 м, глубинность исследований составила 80 м, что превышает максимальную мощность ММТ в масштабах модели.

Для решения обратной задачи применялась программа Res2dinv. На рисунке приведён восстановленный в результате инверсии геоэлектрический разрез (рис. 3).

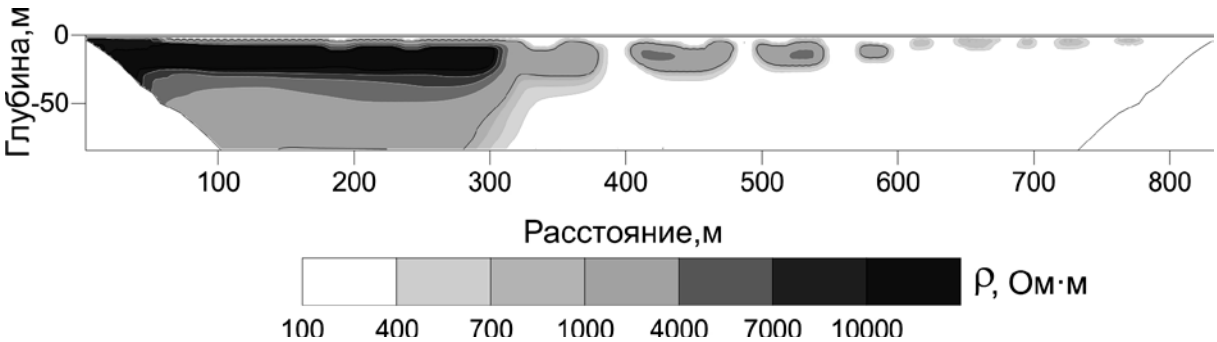


Рис. 3. Геоэлектрический разрез широтной зональности ММТ

Сравнение восстановленного разреза и модели показывает следующее. Область сплошного распространения ММТ прослеживается высокоомным слоем мощностью 40 м, с сопротивлениями порядка 7000-10000 Ом·м. В приповерхностной части разреза наблюдаем слой мощностью 0.5-2 м (УЭС 100-700 Ом·м), который соответствует сезонно-талому слою. Сопротивление вмещающей среды в этой части разреза изменяется в пределах 700-4000 Ом·м, что значительно превышает сопротивление вмещающей среды, заданное в стартовой модели (100 Ом·м).

Часть разреза, соответствующая прерывистому типу распространения (300-600 м), характеризуется меньшими значениями сопротивлений, чем область сплошного распространения ММТ. Прерывистая ММТ выделяется рядом высокоомных аномалий мощностью от 5 м до 15 м, с сопротивлениями порядка 1000-4000 Ом·м. Участки с повышенным сопротивлением занимают в процентном соотношении относительно вмещающей среды около 65%, что соответствует заданным в геокриологической модели параметрам прерывистого типа распространения ММТ [4]. УЭС вмещающей среды характеризуется значениями 100-700 Ом·м. В приповерхностной части разреза выделяется низкоомный сезонно-талый слой (УЭС 100 Ом·м), мощность которого в этой части разреза увеличивается до 5 м.

В третьей части разреза (островной тип ММТ) преобладает вмещающая среда с УЭС порядка 100 Ом·м, прослеживаются отдельные высокоомные аномалии (УЭС порядка 400-1000 Ом·м) мощностью около 5 м.

Анализ восстановленного геоэлектрического разреза и сравнение его со стартовой моделью позволяет сделать вывод, что геометрические и геоэлектрические параметры каждого типа распространения в целом согласуются с начальной геоэлектрической моделью, однако в области сплошного распространения ММП завышено значение УЭС вмещающей среды.

Таким образом, показано, что геоэлектрическая модель наследует характер геокриологической модели, а именно – изменение сплошности и возрастание УЭС с юга на север. Моделирование показало, что с помощью метода электротомографии получаются реалистичные геоэлектрические модели, отображающие строение и свойства (температуру) многолетнемёрзлой толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балков Е.В. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения / Е.В. Балков [и др.] // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nemfis.ru/pdf/ etom.pdf.
2. Бобачев А.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред / А.А. Бобачев [и др.] // Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ «Геоинформмарк». – М., 1996.– С. 47-50.
3. Геокриология СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. Т. V. Горные страны юга СССР. М., Недра, 1989, 359 с.
4. Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследования криолитозоны / Ю.Д. Зыков. М.: изд-во МГУ, 1999. – С. 8-26.
5. Мерзлотоведение (краткий курс) / Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 240 с.
6. Рекомендации по геофизическим работам при инженерных изысканиях для строительства (электроразведка) / ПНИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 104 с.
7. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов / А.Д. Фролов – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН,1998. – 515 с.
8. Шац М.М. Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны / М.М. Шац. Новосибирск: изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1978. 103 с.
9. Якупов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ / В.С. Якупов // Тр. СВКНИИ АН СССР. – 1968. – №. 20. – С. 180.
10. Loke, M.H. 2009, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys, RES2DINV Manual, IRIS Instruments.

TWO-DIMENSIONAL GEOELECTRIC MODEL OF PERMAFROST LATITUDINAL ZONALITY

***Anastasia Goreyavcheva*[1,2]**
***Darya N. Efremova*[1], *Vladimir V. Olenchenko*[2]**
[1]NSU, Novosibirsk
[2]IPGG SB RAS, Novosibirsk
Lapkovskaya.a.a@gmail.com, OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Abstract. This paper discusses study of permafrost latitudinal zonality. In the course of investigation scaled physical-geological model (geoelectric model) of permafrost latitudinal zonality was made. Forward solution for three-electrode (pole-dipole) array using ZondRes2d software was carried out. Obtained data was verified by inverse modeling in Res2dInv program.
Key words: permafrost, electrotomography, electrical resistivity, geoelectric model

УДК 550.837

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ИНДУКТИВНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

Горшков Виталий Юрьевич, Байдиков Сергей Владимирович
ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург
vitalaa@yandex.ru, badikek@mail.ru

Аннотация. Описана методика дистанционных индуктивных зондирований для проведения инженерных геофизических изысканий. Представлены результаты изучения строения грунтовой плотины. Показана эффективность применения метода для оценки состояния гидротехнического сооружения.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, плотина, индуктивные зондирования, эффективное электросопротивление, частотная дисперсия

Введение

Согласно государственному докладу МЧС РФ [1], порядка 1.3 тысячи гидротехнических сооружений (ГТС) на территории России имеют неудовлетворительный уровень безопасности, еще 410 – опасный уровень, еще на 937 гидротехнических сооружений данные по уровню опасности отсутствуют.

Лаборатория экологической геофизики Института Геофизики УрО РАН имеет многолетний опыт исследования состояния насыпных грунтовых ГТС различными методами неразрушающего контроля. Для этих целей применяются как сейсмические, так и электроразведочные методы, кондуктивные и индуктивные [2, 3, 4]. В данной статье описан опыт применения дипольного индуктивного зондирования (ДИЗ).

Объект и методика исследования

Объектом исследования стала одна из плотин на реке Среднего Урала, изначально она была построена в середине XIX века для обеспечения нужд текстильной фабрики местного купца. Свой современный облик плотина приобрела в ходе полномасштабной реконструкции в 1960-х годах. Ее длина по гребню составляет 261 м, ширина по гребню – 16-25 м, максимальная высота – 7.5 м, максимальный объем воды – 2 млн. $м^3$. В настоящее время сооружение используется для регулирования уровня воды в водохранилище, а также служит мостом, включающим в себя автомобильную полосу и пешеходную дорожку.

Методика. Полевые наблюдения методом ДИЗ были выполнены с помощью индукционной аппаратуры МЧЗ-8 (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург) [5]. Комплект аппаратуры состоит из генератора переменного тока с рамочным излучателем электромагнитного поля в виде вертикального магнитного диполя (ВМД) и измерительного блока с чувствительным магнитоприёмником индукционного типа. ДИЗ проводились на частотах 2540, 10200, 20300 и 40600 Гц в области малых и средних параметров электромагнитного поля $P = |k|*r < 10$ [6]. Методика измерений заключалась в регистрации трёх модулей взаимно перпендикулярных компонент напряжённости магнитного поля (Hz, Hr, Hφ) на разных разносах генератора от приемника, генератор относился в восточном направлении на требуемое расстояние r от 10 до 80 м. Глубина исследования принималась равной четверти расстояния между генератором и приемником: $h_{эф} = r/4$ [7]. Обработка данных заключалась в расчёте по полученным данным следующих параметров

среды:

– эффективного удельного электрического сопротивления (УЭС) для низкочастотной асимптотики по формуле [6, 7, 8] $\rho_{эф}=2\ f\ r^2\ H_z/H_r$, где f – рабочая частота, Гц; r – расстояние между приёмником и генератором, км.; H_z –вертикальная составляющая напряжённости магнитного поля, А/м; H_r –радиальная составляющая напряжённости магнитного поля, А/м.;

– продольная проводимость $S_{эф}= r/\rho_{эф}$;

– параметр неоднородности среды δ=Hφ/Hr*100% – этот параметр был введён в практику исследований в работе [9] и показывает отклонение исследуемой области от горизонтально-слоистой модели (в том числе и наличие отдельного проводящего объекта);

– коэффициент частотной дисперсии КЧД = $(\rho^{НЧ}–\rho^{ВЧ})/(\rho^{НЧ}\cdot\ln(f^{ВЧ}/f^{НЧ}))$, где $\rho^{НЧ}$ – эффективные УЭС на низкой частоте, $\rho^{ВЧ}$ – эффективные УЭС на высокой частоте, $f^{ВЧ}$, $f^{НЧ}$ – значения рабочих частот.

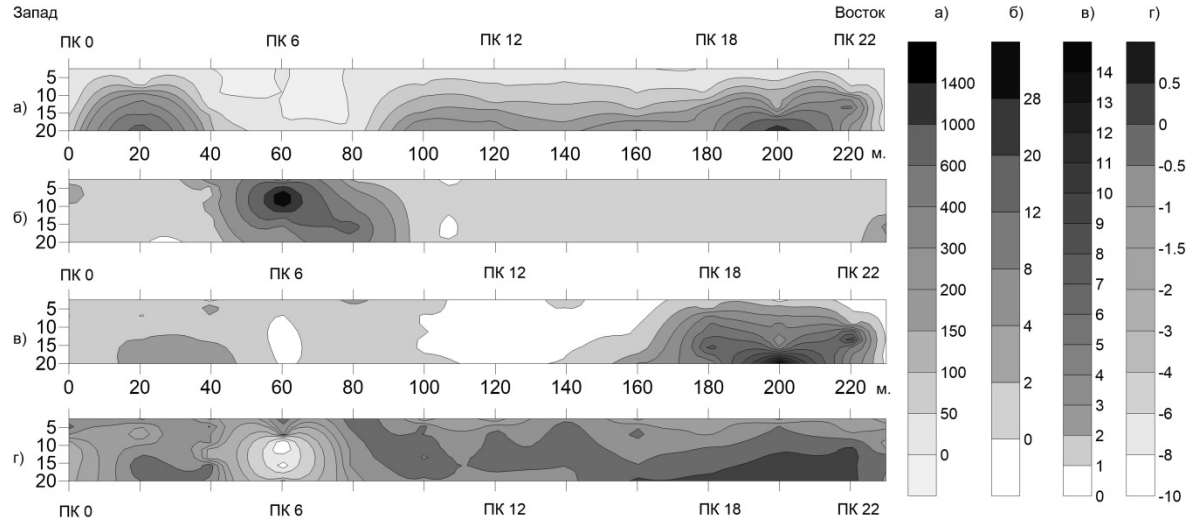


Рис.1. Результаты геофизических исследований: а) разрез эффективного УЭС, Ом/м.; б) разрез эффективной продольной проводимости, 1/Ом; в) параметр неоднородности среды, отн. ед.; г) коэффициент частотной дисперсии, отн. ед.

Результаты

На разрезе эффективных сопротивлений высокими значениями выделяется основание плотины и особенно пикеты 2 и 20 на максимальных разносах. На пикетах 4-8 низкие значения $\rho_{эф}$ объясняются тем, что именно здесь находятся шлюзы водосброса. Эти же шлюзы отмечаются на разрезе эффективных проводимостей повышенными значениями. Самое высокое значение примерно на глубине 7 м, что соответствует реальному положению шлюзов. «Шлейф» повышенных значений, уходящий от этой точки вниз и на восток, обусловлен спецификой метода.

Параметр неоднородности среды δ в районе шлюзов имеет минимальные значения, что указывает на соответствие строения слоистой модели. Повышенные значения параметра неоднородности в нижней части конца профиля связаны, скорее всего, с тем, что основание плотины в этом месте сложено неоднородно. Когда-то в этом месте стояла мельница, затем здесь были проложены трубы для подачи жидкости в помещения завода для охлаждения агрегатов. При реконструкции эти трубы были убраны. К тому же, как показано в работе [10], существенные величины этого параметра создают объекты, расположенные в стороне от профиля исследования, а не объекты, расположенные непосредственно под профилем исследования.

На разрезе коэффициента частотной дисперсии существенно пониженными значениями выделяется место расположения шлюзов. Связано это с тем, что эта часть сильно неоднородна. В остальной части тела плотины значения КЧД имеет значения ниже 0, что также указывает на неоднородность среды, но, учитывая низкую абсолютную величину, можно заключить, что это не имеет серьёзного влияния на устойчивость ГТС и связано, скорее всего, с тем, что само тело плотины состоит из разных партий различных материалов.

Вывод

Дистанционные индуктивные зондирования – метод, позволяющий проводить инженерные геофизические изыскания, в том числе и изучение строения ГТС. Примеры обнаружения нарушений в строении ГТС представлены в работах [2, 3, 4]. По представленным результатам геофизических изысканий можно заключить, что исследованная плотина не имеет в своём теле зон повышенной фильтрации и других опасных явлений. Работы по изучению состояния плотин и уточнение методики этих работ будет продолжаться и дальше.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проекты №15-2-5-31, №15-11-5-13 и № 13-5-004-СГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В МЧС заявили о неудовлетворительном уровне безопасности 1.3 тыс. гидросооружений: Взгляд. Деловая газета — 2016 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 30.01.2017 — URL: http://www.vz.ru/news/2016/4/27/807625.html (дата обращения: 30.01.2017).
2. Федорова О.И Мониторинг состояния грунтовых плотин геофизическими методами / О.И. Федорова [и др.] // Уральский геофизический вестник. № 1 2016, С. 53-57.
3. Давыдов В.А. Инженерные геофизические исследования плотин г. Екатеринбурга / В.А. Давыдов, А.И. Человечков, С.В. Байдиков // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам» // Сборник докладов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 40–43.
4. Давыдов В.А. Индукционные зондирования с изучением частотной дисперсии на примере обследования Верхнесысертской плотины / В.А. Давыдов, С.В. Байдиков, В.Ю. Горшков // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 410-й сессии Международного научного семинара имени Д.Г. Успенского, 27-31 января 2014 г. 2014 г. С. 96-98.
5. Байдиков С.В. Аппаратура для высокочастотных индукционных зондирований МЧЗ–8 / С.В. Байдиков, А.И. Человечков // Екатеринбург: Уральский Геофизический Вестник № 1.2011. С. 4-8.
6. Титлинов В.С. Технология дистанционных индуктивных зондирований / В.С. Титлинов, Р.Б. Журавлева. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1995. – 58 с.
7. Журавлева Р.Б. К выбору интерпретационных параметров при дистанционном зондировании и профилировании с аппаратурой ДЭМП–СЧ / Р.Б. Журавлева, С.А. Самоделкина, В.П. Бакаев // Российский геофизический журнал. №2-4, 1994. С. 67-70.
8. Вешев А.В. Электромагнитное профилирование / А.В. Вешев, В.Г. Ивочкин, Г.Ф. Игнатьев. – Л.: Недра, 1971. – 216 с.

9. Хачай О.А. Об усовершенствовании методики площадных индукционных исследований на россыпных месторождениях / О.А. Хачай, В.П. Бакаев // Горный журнал, № 1 1994. С. 8–18.
10. Шестаков А.Ф. Особенности проявления аномального эффекта от локальных неоднородностей, погруженных в однородное проводящее полупространство, в поле вертикального магнитного диполя / А.Ф. Шестаков, В.Ю. Горшков // Уральский Геофизический Вестник. № 1 (25). 2015. С. 68-77.

APPLICATION OF INDUCTIVE ELECTRICAL SOUNDING FOR STUDY OF SOIL DAM STATE

Vitaliy Yu. Gorshkov, Sergey V. Baydikov
IGF UB RAS, Yekaterinburg
vitalaa@yandex.ru , badikek@mail.ru

Abstract. Inductive electrical soundings procedure for engineering geophysical surveys is described. Results of soil dam structure study are presented. Procedure's efficiency for hydraulic structure condition diagnostic is shown.
Key words: hydraulic structure, soil dam, inductive soundings, effective resistivity, frequency dispersion

УДК 550.379

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ

Григоревская Алина Владимировна[1,2], Оленченко Владимир Владимирович[1,2], Шеин Александр Николаевич[1,4], Камнев Ярослав Константинович[3]
[1]ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, [2]НГУ, г. Новосибирск
[3]ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард
[4] ЗабГУ, г. Чита
GrigorevskayaAV@ipgg.sbras.ru, OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru
SheinAN@ipgg.sbras.ru, loteut@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты определения глубины сезонного оттаивания на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя методом георадиолокации. При измерениях использовалась антенна центральной частоты 250 МГц. Для расчета диэлектрической проницаемости пород деятельного слоя и пересчета временного разреза в глубинный использовались определения глубины оттаивания с помощью щупа. По данным площадных исследований построена карта мощности сезонно-талого слоя. Показана возможность применения георадара для детализации данных щупового опробования.
Ключевые слова: CALM, георадар, деятельный слой, диэлектрическая проницаемость

Циркумполярный мониторинг деятельного слоя (Circumpolar Active Layer Monitoring – CALM) проводится с целью выявления трендов изменения мощности слоя сезонного оттаивания на фоне происходящего потепления и анализа связи этих трендов с климатическими показателями [5]. Существует стандартизированная методика опреде-

ления мощности сезонно-талого слоя (СТС) [8]. Самым распространенным является метод измерения с помощью металлического щупа. Помимо него существует метод определения мощности СТС путем интерполяции температурных данных по глубине разреза пород и по данным мерзлотомера [1]. Все вышеперечисленные методики осуществляются посредством механического вмешательства в зону исследования. Методом георадиолокации (ГРЛ) осуществляется зондирование исследуемой среды без механического воздействия на нее. Рядом ученых [6, 9, 11, 12] были проведены экспериментальные исследования мощности деятельного слоя георадиолокационным методом. По результатам исследований было установлено, что данный метод проявил себя как оперативный способ, позволяющий определять мощность СТС с высокой точностью (первые сантиметры) до значительных глубин (первые метры). Впервые использование метода ГРЛ в рамках CALM было предложено в 2000 году [8], однако на данный момент такой подход не является широко распространенным.

Целью данного исследования было изучение особенностей распространения деятельного слоя на площадке CALM стационара Парисенто. При этом решались следующие задачи: получение, обработка и анализ данных георадара и увязка результатов с данными щупового опробования.

Площадка CALM стационара Парисенто расположена на полуострове Гыдан, координаты 70°07’N 75°35’E. Измерения проводились 18.08.2016 г. В нашем распоряжении были данные щупового опробования о глубине сезонного оттаивания в центральной части площадки, которая составила 124 см. Геология верхней части разреза участка исследований представлена преимущественно супесями и песками. Состав растительного покрова в пределах площадки непостоянен.

Георадарный метод основан на явлении отражения электромагнитной волны от поверхностей, на которых меняются электрические свойства. Излученный передающей антенной в исследуемую среду электромагнитный импульс отражается от находящихся в ней предметов или любых неоднородностей, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость. Отраженный сигнал принимается приемной антенной, преобразуется в цифровой вид и запоминается для дальнейшей обработки [2].

При полевых работах на стационаре Парисенто применялся георадар серии «Око-2» с антенным блоком АБ-250. Это экранированный антенный блок с центральной частотой 250 МГц. На площадке размером 100×100 м были выполнены измерения по 21 профилю, расположенным на расстоянии 5 м друг от друга. Шаг измерений по профилю составлял 5 см. Обработка данных проводилась с помощью программы GeoScan 32.

Для точного определения глубины залегания подошвы СТС необходимо знать диэлектрическую проницаемость деятельного слоя. Она была определена следующим способом. Имея данные мощности сезонно-талого слоя в одной точке, зная времена пробега электромагнитной волны в этой же точке, средняя диэлектрическая проницаемость среды до кровли мерзлых пород рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon = \left(\frac{c}{V}\right)^2 = \left(\frac{ct}{h}\right)^2, \quad (1)$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме, V – скорость волны в среде, t и h – время и расстояние пробега волны в толще деятельного слоя, соответственно. Для данного участка исследования значение диэлектрической проницаемости СТС составило 19.

Зная значение диэлектрической проницаемости среды, можно рассчитать значение влажности в ней. Для песков и суглинков известна эмпирическая формула расчета весовой влажности W [2]:

$W = (\varepsilon - 3.2)/1.1.$ (2)

Расчеты показали, что влажность пород деятельного слоя W составляет 14.4%.

На рисунке представлена радарограмма по профилю № 5 (рис. 1). На радарограмме интенсивной отражающей границей выделяется подошва деятельного слоя, которая хорошо прослеживается вдоль всего профиля. Мощность деятельного слоя вдоль профиля меняется от 1.3 м до 0.25 м. Столь значительные перепады глубины залегания подошвы СТС связаны с неравномерной увлажненностью пород, вызванной разным типом растительного покрова (травянистый или моховой). Увлажненность верхней части разреза (ВЧР) также влияет на величину амплитуды сигнала приповерхностной волны. На интервале профиля от 75 до 90 м значительно увеличивается интенсивность сигнала, что говорит о высокой влажности породы ВЧР на данном промежутке профиля. И на этом же интервале происходит значительное уменьшение мощности СТС. Данная закономерность прослеживается на других профилях. Высокую амплитуду приповерхностной волны на площадке можно связать с повышенной влажностью пород верхней части разреза под моховым покровом. Как известно [3, 4, 7], моховой покров является теплоизолятором и под ним мерзлота залегает ближе к поверхности.

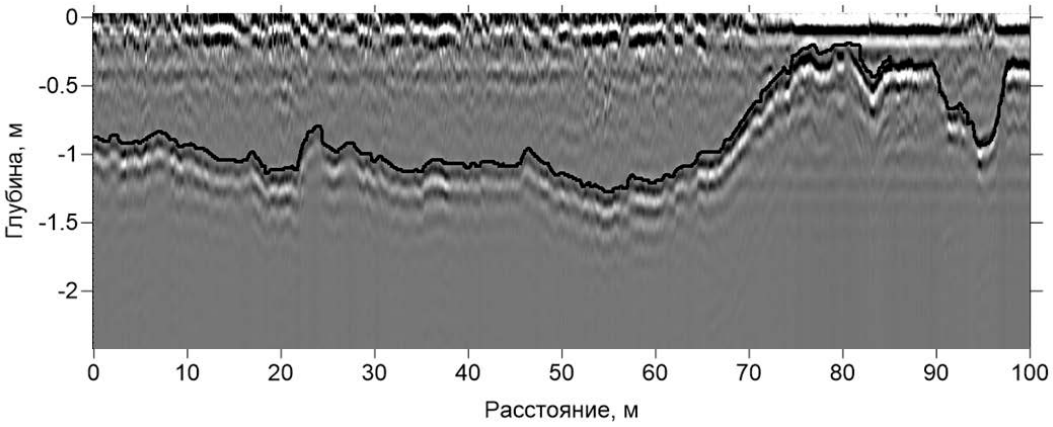


Рис. 1. Радарограмма по профилю №5

Для выявления особенностей строения деятельного слоя в пределах площадки была построена карта глубины сезонного оттаивания на период 18.08.2016 (рис. 2). Карта отражает хорошо выраженную зональность СТС. В целом для площадки глубина оттаивания грунтов изменяется от 25 см до 140 см. Минимальная глубина отмечается на участках развития мохового покрова, максимальная – на участках сухой тундры с травянистым покровом.

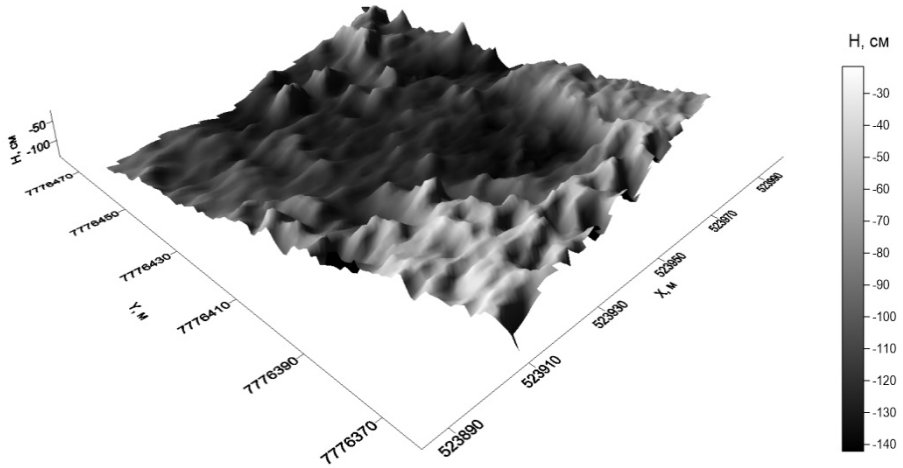


Рис. 2. Карта глубины залегания подошвы деятельного слоя

Результаты исследований показали, что для данной площадки метод георадиолокации является оптимальным для мониторинга мощности СТС, поскольку верхняя часть разреза представлена породами, обеспечивающими достаточную глубину зондирования (отсутствие неоднородностей, отсутствие значительных перепадов высот). Для определения мощности деятельного слоя с помощью метода ГРЛ с точностью до 1 см достаточно одного замера щупом для привязки георадарных данных к глубине. Поскольку метод георадиолокации менее трудоемкий и позволяет получить данные с высокой точностью по всей площадке с большей регулярностью, нежели метод щупового опробования (щуповое опробование проводилось по сети 10×10 м, в то время как георадарные профили проходили на расстоянии 5 м друг от друга с шагом по профилю 5 см), его можно использовать как дополнительный метод мониторинга мощности деятельного слоя. При измерении глубины залегания подошвы СТС на протяжении периода оттаивания можно сократить количество замеров щупом, применяя вместо него георадар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов О.А. Континентальная многолетняя мерзлота / О.А. Анисимов [и др.] // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2012. – С. 301-359.
2. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Издательство Московского университета, 2004.
3. Ершов Э.Д. Общая геокриология / Э.Д. Ершов. – М.: Издательство Московского университета, 2002.
4. Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение / В.А. Кудрявцев. – М.: Издательство Московского университета, 1978.
5. Мажитова Г.Г. Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России / Г.Г. Мажитова, Д.А. Каверин // Криосфера Земли. 2007. т. XI, № 4. С. 20-30.
6. Саввин Д.В. Результаты экспериментальных исследований криогенного состояния горных пород методом георадиолокации в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны / Д.В. Саввин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 5. С. 192-196.
7. Уошборн А.Л. Мир холода / А.Л. Уошборн. – Москва: «Прогресс», 1998.
8. Brown, J., Hinkel, K.M. and Nelson, F.E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Research Designs and Initial Results // Polar Geography. 24,(3). 2000. pp. 258. 3.
9. Doolittle J.A., Hardisky M.A., Gross M.F. A Ground-Penetrating Radar Study of Active Layer Thicknesses in Areas of Moist Sedge and Wet Sedge Tundra near Bethel, Alaska, U.S.A. // Arctic and Alpine Research. Vol. 22. No. 2 (May, 1990). pp. 175-182.
10. «GeoScan32» Иллюстрированное руководство пользователя. Версия 2.5. 2009.
11. Westermann S., Wollschlager U., Boike J. Monitoring of active layer dynamics at a permafrost site on Svalbard using multi-channel ground-penetrating radar // The Cryosphere. 4. 2010. P. 475–487.
12. Wollschlager U., Gerhards, H., Yu, Q., and Roth, K.: Multi-channelground-penetrating radar to explore spatial variations in thaw depth and moisture content in the active layer of a permafrost site // The Cryosphere. 4. doi:10.5194/tc-4-269-2010. 2010. P. 269–283.

© ГИ УрО РАН. 2017

GPR APPLICATION TO STUDY ACTIVE LAYER

Alina V. Grigorevskaya[1, 2], Vladimir V. Olenchenko[1, 2]
Shein A.N.[1,4], Kamnev Ya.K.[3]
[1]IPGG SB RAS, Novosibirsk, [2]NSU, Novosibirsk
[3]SBI YaNAO «Scientific Research Center of the Arctic», Salehard
[4] ZabSU, Chita
GrigorevskayaAV@ipgg.sbras.ru, OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru
SheinAN@ipgg.sbras.ru, loteut@gmail.com

Abstract. Results of depth determining by GPR of seasonal thawing at circumpolar active layer monitoring site are presented. Antenna with central frequency of 250 MHz was used in measurements. Manual probing of active layer was used to calculate dielectric permittivity of thawing rocks and to recalculate time section into depth. Seasonal thawing map of depth has been created according to areal study data. Possibility of using GPR for detailing manual probing data is demonstrated.
Key words: CALM, GPR, active layer, dielectric permittivity

УДК 550.34

ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА ЗА 2016 ГОД

Гусева Наталья Сергеевна[1], Белевская Мария Александровна [1,2],
Варлашова Юлия Викторовна[1,2], Верхоланцев Филипп Геннадьевич[1,2],
Войтова Анастасия Сергеевна[2,1], Голубева Инга Викторовна[1,2],
Злобина Татьяна Викторовна[1],Старикович Екатерина Николаевна[1,2]
[1]ГИ УрО РАН, г. Пермь
[2]ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск
natali.guseva.2010@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся основные результаты инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Урала за 2016 год.
Ключевые слова: сейсмические наблюдения, Уральский регион, землетрясение, взрыв, уральская сейсмологическая сеть

Постоянные инструментальные сейсмологические наблюдения на территории Уральского региона стали проводиться с конца 90-х годов XX в. На начало 2016 г. сеть насчитывает десять современных сейсмических станций [1] на территории 3 субъектов федерации РФ – Пермский край, Свердловская область и Республика Башкортостан (РБ). Все станции оснащены специальным оборудованием, обеспечивающим доступ в Интернет по каналам спутниковой и мобильной связи, что позволяет удаленно управлять ими и получать данные почти в реальном времени. В дополнение к имеющейся сейсмологической сети в проводимых наблюдениях были так же задействованы сейсмические станции «Арти» (ARU), «Свердловск» (SVE), данные которых находятся в прямом доступе центра обработки в г. Обнинск (ФИЦ ЕГС РАН). Информация со станции (ORR) Оренбургской сети осуществляется по запросу в Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра (ОНЦ) РАН (г. Оренбург).

Большой объем данных, поступающих со всех станций, позволяет достаточно надежно лоцировать зарегистрированные события. Развернутая сейсмологическая сеть

обеспечивает в центральной части Пермского края регистрацию сейсмических событий с магнитудами 1.5-2.0. Начиная с магнитуды 2.5, имеется возможность фиксировать практически все события для территории региона.

Общий анализ сейсмических данных

Ежегодно в процессе обработки на записях станций обнаруживается более 6 тыс. событий различной природы. Большинство (более 40%) из них можно отнести к телесейсмических событиям, то есть землетрясениям, эпицентр которых находится на расстоянии более 1000 км от станции. Оставшуюся часть зарегистрированных сейсмических событий можно разделить на 3 типа:

1. Местные природные землетрясения с эпицентральными расстояниями до 1000 км и локальные сейсмические события (микроземлетрясения) тектонического происхождения – менее 1%.
2. Местные природные события с эпицентральными расстояниями до 1000 км и локальные сейсмические события (микроземлетрясения), связанные с разработкой месторождений полезных ископаемых (горно-тектонические удары) – 5%.
3. Технологические взрывы, производимые на карьерах Пермского края, Свердловской области и других соседних регионов – 94%.

В 2016 г. сейсмической сетью Западного Урала было зарегистрировано 147 событий, отнесенных к группе местных и локальных землетрясений. Определить параметры очагов удалось только для 56 из них, так как остальные слишком слабы и зарегистрированы одной, реже двумя станциями. Эпицентры очагов этих землетрясений представлены на рисунке (рис. 1).

Местные природные землетрясения

Землетрясения Пермского края. В течение многих лет в Добрянском районе (Пермский край) формируется сейсмически активная зона. В 2016 году станциями УСС было зарегистрировано три сейсмических события с локальными магнитудами ML (1.8-2.2), макросейсмических проявлений они не имели (табл. 1).

Таблица 1

№	Дата	Время UTC	Широта,°	Долгота,°	Глубина, км	ML	Район
1	10.04.2016	20:11:00	58.58	56.56	10f	1.8	Пермский край, Добрянский район
2	19.09.2016	0:04:53	58.46	57.08	10f	2.2	Пермский край, Добрянский район
3	14.12.2016	17:13:12	58.76	57.04	10f	2.0	Пермский край, Добрянский район

Природа данных событий на сегодняшний день остается до конца не выясненной, поскольку имеющиеся инструментальные данные не позволяют дать однозначного ответа на данный вопрос. Ближайшие станции расположены на расстоянии более 30 км от эпицентра. При удалении станций на 40-70 км глубина очага, если она менее 10 км, практически не определяется (очаги с небольшой глубиной не дают значимых различий во временах вступлений волн).

Для расчета эпицентра бралась фиксированная глубина 10 км – средняя глубина очагов для данной магнитуды в этом районе. Неопределенности прибавляет тот факт, что в районе возможны разные типы очагов: тектонические и обвальные. Поскольку в районе ведется интенсивная добыча углеводородов, тектонические события могут быть не только естественными, но и инициированными некомпенсированной откачкой флюидов. В то же время в сторону обвального характера очагов склоняет большое количе-

ство карстовых форм рельефа в виде воронок на поверхности, что говорит об активном современном разрушении карстующихся пород, и поэтому часть таких разрушений вполне может происходить в виде обвалов. Однако, принимая во внимание магнитуду очагов (ML около 2), которая для обвальных очагов в среднем меньше, будем считать все отмеченные события «возможно» тектоническими землетрясениями. Кроме того необходимо заметить, что за инструментальный период наблюдений в исследуемом районе было зарегистрировано более десяти сейсмических событий с магнитудами (0.9 - 2.5).

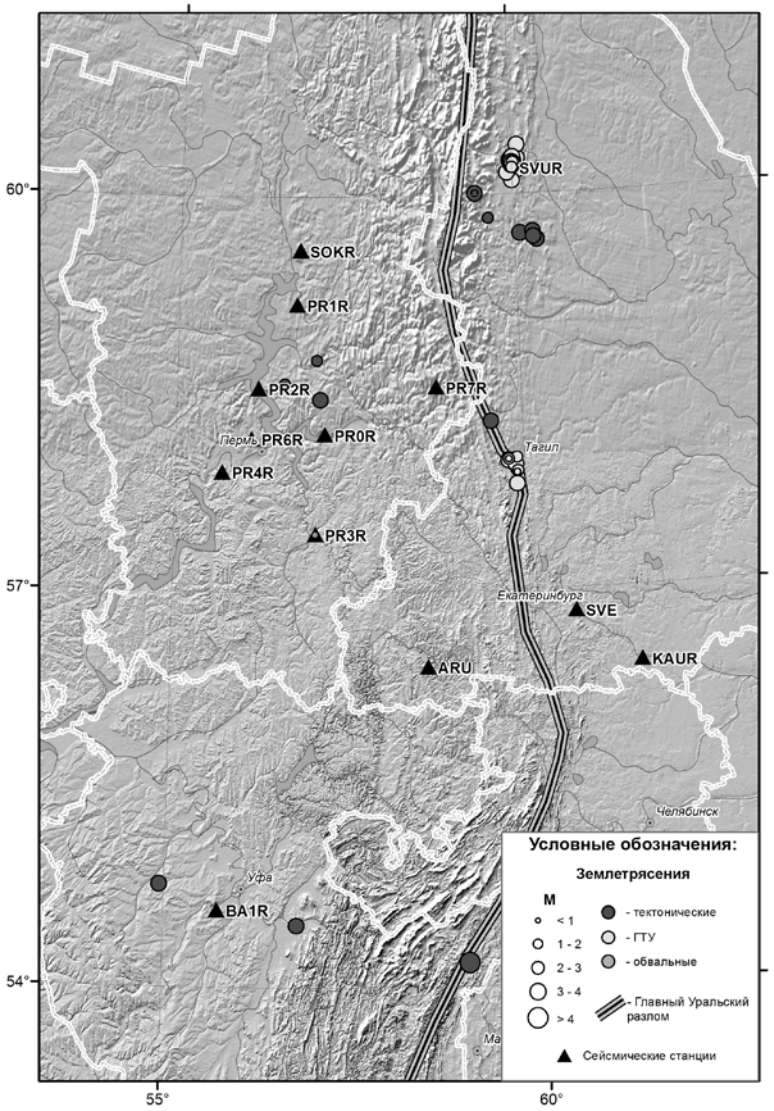


Рис. 1. Эпицентры землетрясений на Урале за 2016 г.

Землетрясения соседних регионов. По-прежнему сохраняется тектоническая активность в Республике Башкортостан (РБ) и Кировской области.

В РБ зарегистрировано три землетрясения, которые были зафиксированы большинством станций региона, а также присутствуют в каталогах (ISC, KNDC).

Самым крупным событием стало землетрясение с эпицентром на восточной границе Башкортостана, около п. Кутуево, которое произошло 3 апреля 2016 г. в 04:53:20 UTC. Магнитуда землетрясения, оцененная по полученным записям, составила ML=3.3. В тектоническом плане для Уральской разломно-надвиговой зоны это землетрясение ассоциируется с зоной влияния Главного Уральского разлома.

Два землетрясений произошли 24 января в 05:27:04 и 25 марта 15:47:22 с локальными магнитудами 2.6 и 2.1, соответственно, и, вероятно, связаны с разломно-блоковой структурой Благовещенской впадины кристаллического фундамента.

Волновые формы имеют классическую форму, типичную для землетрясений, с хорошо выраженными группами объемных волн. С учетом глубин событий 10-20 км, характерной в данной области для кристаллического фундамента, землетрясения отнесены к тектоническим. Макросейсмических проявлений не было.

В Кировской области 6 апреля в 19:09:34 в Верхнекамском районе было зарегистрировано одно землетрясение с локальной магнитудой 2.5. В тектоническом отношении это землетрясение может быть приурочено к Коми-Пермяцкому своду.

Отдельно стоить отметить землетрясения Свердловской области, эпицентры двух из них расположены в районе г. Карпинск и, возможно, могут иметь тектоническое происхождение. Самое сильное из них произошло 23 июля 2016 г. 01:41:25 UTC с магнитудой ML=2.8. Данных о макросейсмических проявлениях данного землетрясения нет.

Также, среди тектонических событий стоит отметить событие 13 марта 2016 г в 02:17:02 UTC (рис. 1) в окрестностях г. Кушва, эпицентр которого ложится в зону влияния Главного Уральского разлома. Локальная магнитуда землетрясения составила ML=2.7. Данных о макросейсмических проявлениях данного землетрясения нет.

Горно-тектонические удары

Значительную часть событий Свердловской области традиционно представляют горные и горно-тектонические удары на рудниках Североуральского бокситового месторождения. За 2016 г. региональной сейсмологической сетью было зарегистрировано 24 события с локальными магнитудами (1.9-3.2). События, записанные одной или двумя станциями, не участвуют в расчете. Самым сильным сейсмическим событием стал горно-тектонический удар на шахте Новокальинская, произошедший 10 марта в 03:19:48 UTC. Магнитуда ML, оцененная по инструментальным записям, составила 3.2. Данных о макросейсмических проявлениях нет.

В этом же горнодобывающем районе произошло одно событие, имевшее макросейсмические проявления – ГТУ 9 ноября в 4:14:59 UTC на ш. Кальинская, имевшее магнитуду ML=3.0. Согласно опросам местных жителей, интенсивность сотрясений в п. Калья составила 4 балла, в г. Североуральск (удаление 7-12 км) и п. Черемуховский (удаление 10-13 км) интенсивность сотрясений была на уровне 3 баллов по шкале MSK-64.

Вторым по значимости сейсмической активности является район г. Н. Тагил, где за год произошло 16 ГТУ с локальными магнитудами (1.6-2.9). Данных о макросейсмических проявлениях нет.

Технологические, промышленные и аварийные взрывы

Значительная часть событий, регистрируемых сетью, составляют промышленные взрывы. Всего за отчетный период зарегистрировано более 2 тысяч промышленных и технологических взрывов на горнодобывающих объектах. Согласно имеющимся данным с горнодобывающих предприятий региона, максимальная масса зарядов для взрывов, произведенных на территории Пермского края, не превышает 50 тонн, в то время как масса зарядов взрывов, произведённых на карьерах Свердловской области – Асбестового ГОКа – достигает 100 тонн, Качканарского ГОКа – 500 тонн. Локальные магнитуды, определенные по инструментальным записям, для таких взрывов составляют от 1.5 до 3. Параметры очага – координаты, время и магнитуда – определяются для взрывов в том случае, если событие было зарегистрировано 3 станциями и более.

Взрывы вследствие аварий. Особое место среди регистрируемых сейсмических событий занимают взрывы, являющиеся следствием каких-либо аварий и техногенных катастроф. Время от времени в регионе фиксируются взрывы, возникающие при авариях на трассах магистральных газопроводных систем. Магистральные газопроводные системы представляют собой сложные технические объекты, в связи с этим они обладают повышенным риском возникновения различного рода аварийных ситуаций.

В 2016 году 8 августа в 06:05 (UTC) в Октябрьском районе Пермского края произошел разрыв магистрального газопровода МГ «Уренгой-Новопсков» с последующим взрывом и возгоранием. Взрыв был зарегистрирован двумя сейсмостанциями, эпицентр находился в 4 км юго-восточнее поселка Октябрьский. По данным РИА «Новости», в результате возгорания никто не пострадал, однако взрыв был такой силы, что у многих жителей поселка были выбиты стекла.

Формирование базы данных по результатам аварий позволяет исследовать характер распространения сейсмических и ударных волн, генерированных взрывом, и более достоверно осуществлять идентификацию сейсмических событий из различных источников.

Результаты

В результате проведения мониторинговых наблюдений накоплен большой объем информации по особенностям проявления тектонических и техногенных сейсмических процессов на территории Уральского региона. Составлен каталог региональных землетрясений, в который вошло 56 сейсмических событий с локальными магнитудами от 1.5 до 3.3. Очаги землетрясений территориально относятся как к Пермскому краю, так и к прилегающим регионам. В целом, сейсмический режим Уральского региона в 2016 г. можно охарактеризовать как относительно спокойный, и достаточно близкий по своим параметрам к 2015 году [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсмологический мониторинг Западного Урала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm
2. Гусева Н.С. Обзор сейсмичности Уральского региона за 2015 год / Н.С. Гусева [и др.] // Семнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2016, 210 с. С.18-22.

REVIEW OF SEISMIC ACTIVITY AT THE URAL REGION IN 2016

Belevskaya Maria[1,2], Varlashova Julia[1,2], Verkholansev Filipp[1,2], Voytova Anastasiya[1,2], Zlobina Tatiana[1], Golubeva Inga[1,2], Guseva Natalia[1], Starikovich Ekaterina[1,2]
[1]MI UB RAS, Perm, [2]FRC GS RAS, Obninsk
Natali.guseva.2010@mail.ru

Abstract. This article presents the results of seismic instrumental observation at the Ural region in 2016.
Key word: seismological observation, Ural region, earthquake, explosion, Ural seismic network

УДК 550.34.06

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛЕДНИКОВОЙ АКТИВНОСТИ НА О. ЗЕМЛЯ АЛЕКСАНДРЫ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

Данилов Алексей Викторович
ФИЦКИА РАН, г. Архангельск
danilov.aleksey.vikt@gmail.com

Аннотация. Описываются основные результаты, полученные в ходе изучения сейсмических событий, произошедших на ледниках о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа в период с 2012 по 2014 годы.
Ключевые слова: льдотрясение, Арктика, магнитуда, сейсмическая станция, землетрясение

Сейсмическими станциями, установленными вблизи ледниковых куполов, регистрируется большое количество локальных сейсмических событий, которые относятся к ледниковой активности. При проведении регионального мониторинга арктических землетрясений, данные события являются помехой, однако, при изучении активности ледников, их можно рассматривать как полезный сигнал. Данный вид событий, обусловленный как образованием трещин в теле ледника, так и отколом ледниковой массы с фронта, имеет характерное название – льдотрясения [1]. Согласно проведенным исследованиям зарубежных коллег, некоторые подобные сотрясения могут происходить с большой энергией, при отколах массивных (куб. км) блоков льда [2]. Изучением данного вида сейсмичности преимущественно занимаются зарубежные коллеги, в России подобные наблюдения только начинают развиваться [3, 4].

В ходе мониторинга ледниковых куполов о. Земля Александры установлено, что характерный вид событий проявляется в полосе частот от 0.7 до 8 Гц.

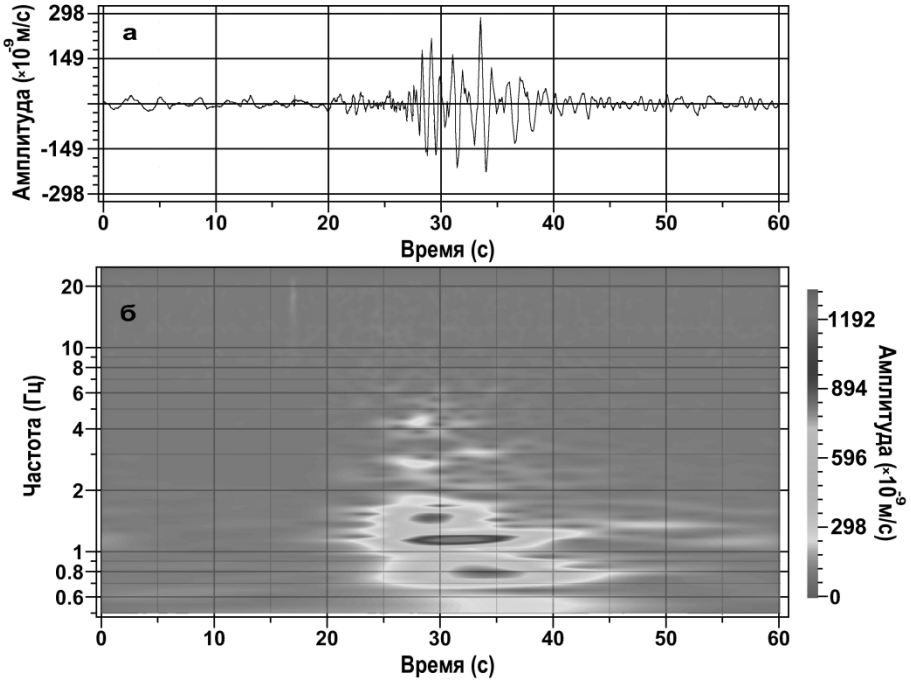


Рис. 1. Льдотрясение с частотами от 0.7 до 2 Гц: а) волновая форма, б) СВАН диаграмма

При этом условно можно выделить группу событий, характеризующуюся более низким диапазоном частот от 0.7 до 2 Гц (рис. 1), такие события встречаются значительно реже, чем остальные. Вероятно, это обусловлено тем, что на частотах до 2 Гц, как правило, наблюдается повышенный уровень микросейсмического фона, что затрудняет их выделение (рис. 2). Волновые формы ледниковых событий схожи между собой, средняя длительность порядка 20 секунд. В силу близкого расположения регистрирующей станции (порядка 20 км) и маленькой энергии для большинства событий наиболее четко фиксируются лишь поверхностные волны.

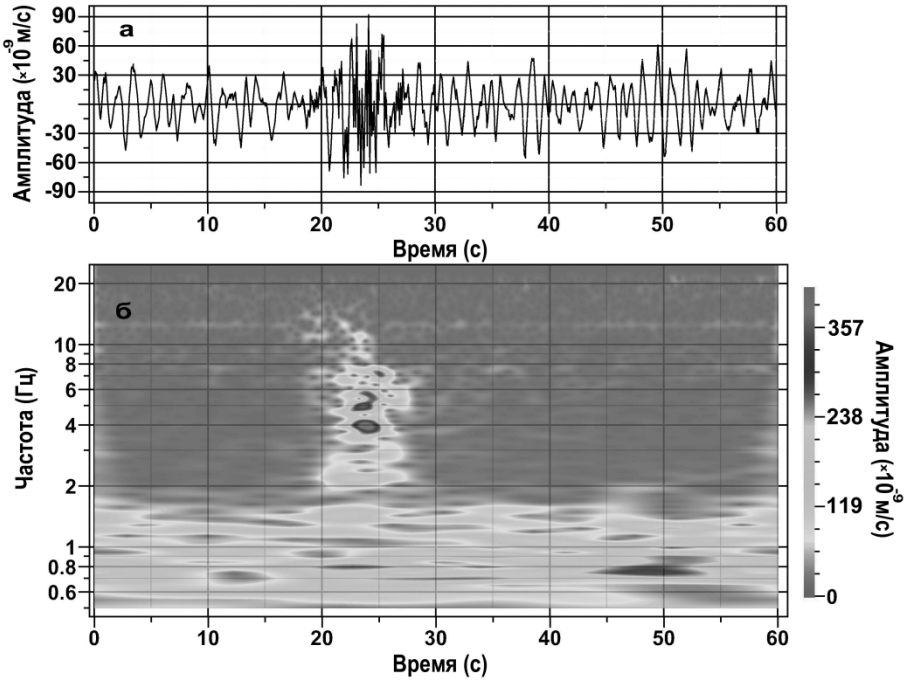


Рис. 2. Льдотрясение с частотами от 2 до 8 Гц: а) волновая форма, б) СВАН диаграмма

Из всех сейсмических событий, регистрируемых станцией на о. Земля Александры, большинство событий относится именно к ледниковым. В некоторые месяцы регистрируется до 2 тысяч событий. Как видно из рисунка, временное распределение количества ледниковых событий имеет хорошую корреляцию с изменением температуры воздуха для 2012 и 2013 годов (рис. 3). Отметим запаздывание по времени нарастания количества событий относительно роста температуры, что, по-видимому, связано с переработкой энергии средой. Для 2014 года увеличение количества событий при росте температуры имеется, но незначительное.

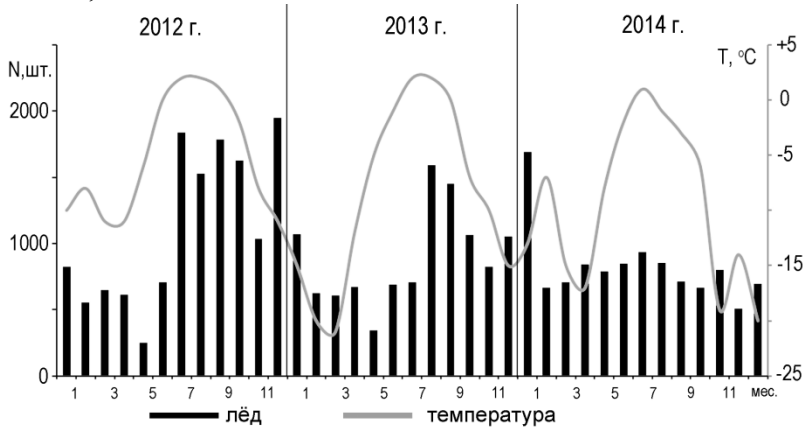


Рис. 3. Временное распределение количества льдотрясений и температуры воздуха

Временное распределение количества ледниковых событий и региональных землетрясений (рис. 4) показывает, что их экстремумы лежат в противофазе для 2012 и 2013 года, в 2014 году такого явления не наблюдается. Вероятно, данный факт обусловлен эффектом, описываемым в литературе [5] как явление наведенной сейсмичности. Полученный результат согласуется с результатами исследований на образцах академика Садовского [6]. Большое количество землетрясений в начале 2014 года позволило снять часть напряжений в ледниках, в результате чего, в 2014 году температурная корреляция ледниковых событий была незначительной.

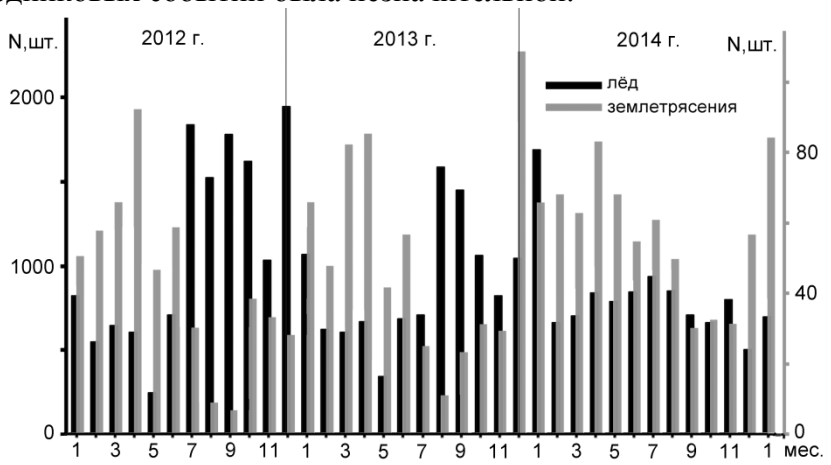


Рис. 4. Временное распределение количества льдотрясений и региональных землетрясений

Для сильных ледниковых событий, по которым удалось отметить фазы вступлений P- и S-волн, построено пространственное распределение (рис. 5), большинство событий приходится на ледниковый купол Лунный, с чем это связано пока трудно сказать. Локация производилась вручную, в обработку были включены события с магнитудами от 0.3 до 1.6

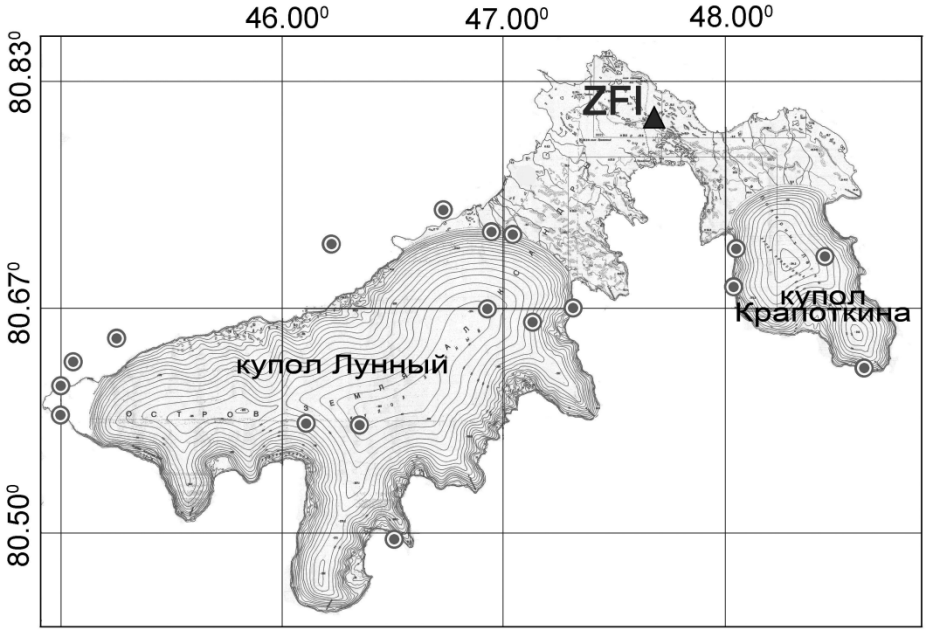


Рис. 5. Пространственное распределение льдотрясений с магнитудами от 0.3 до 1.6

Таким образом, выявлен характерный частотный состав льдотрясений о. Земля Александры, который лежит в полосе частот от 0.7 до 8 Гц, при этом большее число регистрируемых событий имеет частоты от 2 до 8 Гц. Временное распределение льдотрясений в период с 2012 по 2014 гг. коррелирует с распределением температуры воздуха. Незначительное проявление корреляции для 2014 года, возможно, обусловлено эффектом наведенной сейсмичности от региональных землетрясений. Для установления данной возможной взаимосвязи требуются более длительные наблюдения.

Работа выполнена при частичной поддержке программы НИР № АААА-А16-116052710111-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов А.В. Анализ ледниковой активности о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа / А.В. Данилов // XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2014. С. 81-83.
2. Meredith Nettles, Göran Ekström Glacial Earthquakes in Greenland and Antarctica // Annual Review of Earth and Planetary Science, 2010, V 38. P. 465–489.
3. Федоров А.В. Сейсмологические наблюдения за активностью ледников архипелага Шпицберген / А.В. Федоров [и др.] // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2016. – Т. 19. – №. 1-1.
4. Псахье С.Г. Модельные исследования процессов возникновения и развития деформационных структур субдукционного типа в ледовом покрове озера Байкал / С.Г. Псахье [и др.] // Физическая мезомеханика. – 2008. – Т. 11. – №. 1.
5. Николаев А.В. Наведенная сейсмичность / А.В. Николаев, И.Н. Галкин. – 1994.
6. Садовский М.А. Влияние механических микроколебаний на характер пластических деформаций материалов / М.А. Садовский [и др.] // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1981. № 6. С.32–42.

SEISMIC OCCURRENCE OF GLACIAL ACTIVITY ON THE ISLAND OF ALEXANDRA LAND ARCHIPELAGO FRANZ-JOSEPH LAND

Alexey V. Danilov
FCIAR RAS, Arkhangelsk
danilov.aleksey.vikt@gmail.com

Abstract. Key results from seismic events study of island's glaciers of Alexandra Land archipelago Franz-Joseph Land during 2012 to 2014 are presented.
Key words: icequake, the Arctic, magnitude, seismic station, earthquake

УДК 622.014.2: 550.835.41

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ «ON-LINE» КОНТРОЛЬ РУД, ПОСТУПАЮЩИХ НА ПЕРЕРАБОТКУ НА ЖЕЗКАЗГАНСКИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ФАБРИКИ ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»

Ефименко Ольга Сергеевна[1], Шаханов Амирхан Мухитжанович[2]
Диханов Ерлан Нургалиевич[2], Ефименко Сергей Анатольевич[2]
Макаров Дмитрий Викторович[3]
[1]Харьковский политехнический университет, Харьков, Украина
[2]ТОО «Корпорация Казахмыс», Караганда, Казахстан
[3]Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия
serg_yef@mail.ru, makarov@inep.ksc.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам организации многокомпонентного «on-line» контроля руд, поступающих на переработку на жезказганские обогатительные фабрики ТОО «Корпорация Казахмыс». «On–line» контроль ведётся посредством рудоконтролирующих станций (РКС) РЛП-21Т (ТОО «Аспап Гео», Алма-Ата). Метод опробования руд – энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный. Аналитическая задача усложнена тем, что в первую очередь требуется обеспечить определение содержаний серебра и кадмия в диапазоне содержаний 5+ ppm, а также содержаний меди, цинка, свинца и железа в рудах крупностью 300 мм.
Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный метод, месторождение Жезказган, рудоконтролирующая станция РЛП-21Т, медь, серебро, обогатительные фабрики, тяжелый конвейер, «on–line» контроль качества руд

В современных условиях проблема организации эффективного «on-line» контроля качества руд, поступающих на обогатительные фабрики от нескольких поставщиков, приобретает приоритетную значимость как для предприятий цветной металлургии Казахстана вообще, так и для обогатительных фабрик ТОО «Корпорация Казахмыс», в частности.

Флагманом внедрения «on-line» технологий контроля качества руд в ТОО «Корпорация Казахмыс» являются жезказганские обогатительные фабрики ЖОФ-1 (год постройки – 1953, проектная мощность – 8.0 млн. т/год) и ЖОФ-2 (год постройки – 1963, проектная мощность 14.0 млн. т/год) обогатительно-производственного комплекса (ОПК). На ЖОФ-1 и ЖОФ-2 поступает медно-полиметаллическая руда с рудников, разрабатывающих месторождения медистых песчаников: Жезказган, Жиландинской группы, Жаман-Айбат. Общее количество поставщиков превышает 15. Вещественный состав руд месторождений относительно простой. Запасы на месторождении Жезказган утверждены по меди, свинцу, цинку (основные элементы), серебру, кадмию, сере, рению (сопутствующие элементы), на месторождении Жаман-Айбат – по меди, свинцу, цинку (основные элементы), серебру и рению (сопутствующие элементы), месторождениям Жиландинской группы – по меди (основной элемент), серебру, рению, селену и сере (сопутствующие элементы).

В связи с большим числом поставщиков руды на ЖОФ-1, 2, в ранг важнейшей производственной задачи превращается задача объективного распределения меди и серебра в медном концентрате между поставщиками руды (рудниками, шахтами и карьерами). Это распределение до последнего времени производилось по данным входного

контроля качества руд, который вел ОТК. Традиционные методы входного контроля качества поступающих руд давно не соответствуют возросшим современным требованиям.

Задача данной работы – выбор, производственные испытания и внедрение современных технических средств «on-line» контроля качества руд, поступающих на ЖОФ-1, 2, с целью объективного распределения меди и серебра, извлеченных в медный концентрат, между поставщиками руды.

Мировой опыт организации «on-line» контроля полиметаллических руд на ОФ однозначно рекомендует использовать для этих целей рудоконтролирующую станцию (РКС). Рынок РКС весьма многообразен – это рентгенофлуоресцентные РКС: РКС «СТАРК» (ООО «КрасРадос», Красноярск), РКС–КМ (ТОО «Технорос», Красноярск), Online Conveyor XRF Analyzer Con X-03 (Baltic Scientific Instruments Ltd, Латвия), РКС АРП-1Ц (ООО «Теханалитприбор», Москва), РКЦ-1М (ОАО «НИИТФА», Москва), РКС-А («INTEGRA GROUP», Москва); РКС на гамма-нейтронно-активационном методе анализа (PGNAA): CB Omni (Thermo Fisher Scientific, Австралия), GEOSCAN (Scantech. Австралия), NITA II (ScanMin Africa, Южная Африка), EBA 1-2 CE (ENCE GmbH, Швейцария); РКС на базе БИК спектрометра SpectraFlow Crossbelt (SpectraFlow Analytics Switzerland, Швейцария); РКС на базе спектроскопии лазерно-индуцированного пробоя (LIBS) MAYA-6060 (Laser Detect System – LDS, Израиль) [1]. Из этого многообразия нами были выбраны энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные РКС. Критерии отбора: минимизация затрат на оборудование, «вписываемость» РКС в галереи тяжелых конвейеров (без создания серьезных помех для персонала, обслуживающего конвейеры), высокоточный многокомпонентный «on-line» анализ (включая серебро) на крупнодроблёной руде класса 300 мм, радиационная безопасность работников ЖОФ-1, 2, передвигающихся по галереям.

Первым шагом по переходу на «on-line» контроль качества руд явилось внедрение на тяжелом конвейере № 1А КД-1 ЖОФ-1 энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной РКС РЛП-3-02 ООО «Геотех» (С.-Пб, Россия) [1, 2]. РКС РЛП-3-02 выдавала в «on-line» режиме содержания меди, цинка, свинца и серебра. Справедливости ради следует указать, что достоверными были только результаты по меди – по остальным элементам выполнялся качественный анализ. С внедрением этой РКС был упразднен пункт опробования руды ОТК на конусной дробилке крупного дробления типа 900/160.

Руководством Горно-производственного комплекса (ГПК) ТОО «Корпорация Казахмыс» было принято решение о распространении «on-line» контроля качества руд на остальные тяжелые конвейеры: №1 ЖОФ-1, №1 и №2 ЖОФ-2. Это позволило бы: контролировать качество всего объема руды, поставляемой на ЖОФ-1, 2 ОПК; своевременно отстаивать интересы ГПК в случаях больших расхождений содержаний меди и серебра по данным РКС и слива гидроциклонов ЖОФ-1, 2. При этом, к этим трем РКС было предъявлено дополнительное очень сложное требование: обеспечение достоверного «on-line» контроля во входной руде за содержаниями серебра (в первую очередь), меди, цинка, свинца, кадмия и железа. С учетом гранулометрического состава руд (класс 300 мм) и низких содержаний серебра (5-20 ppm) в них, данная задача представлялась трудновыполнимой, так как в мировой практике отсутствуют примеры решения подобных задач с помощью энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных РКС.

В связи с тем, что РКС РЛП-3-02, скорее всего не смогла бы в полной мере обеспечить решение поставленной задачи, то решено было привлечь ТОО «Аспап Гео» (Алма-Ата, Казахстан), которое является лидером в Казахстане по производству ядерно-геофизической аппаратуры «on–line» контроля качества полиметаллических руд;

является давним (с 1994 г.) партнером ТОО «Корпорация Казахмыс». В очень сжатые сроки РКС были разработаны, изготовлены, поставлены и с октября 2016 г. по январь 2017 г. запущены в работу на ЖОФ-1, 2. Внешний вид РКС РЛП-21Т показан на рисунках (рис. 1, 2).

Рис. 1. РКС РЛП-21Т на конвейерах №1 (слева) и № 2 КД-2 ЖОФ-2 (справа)

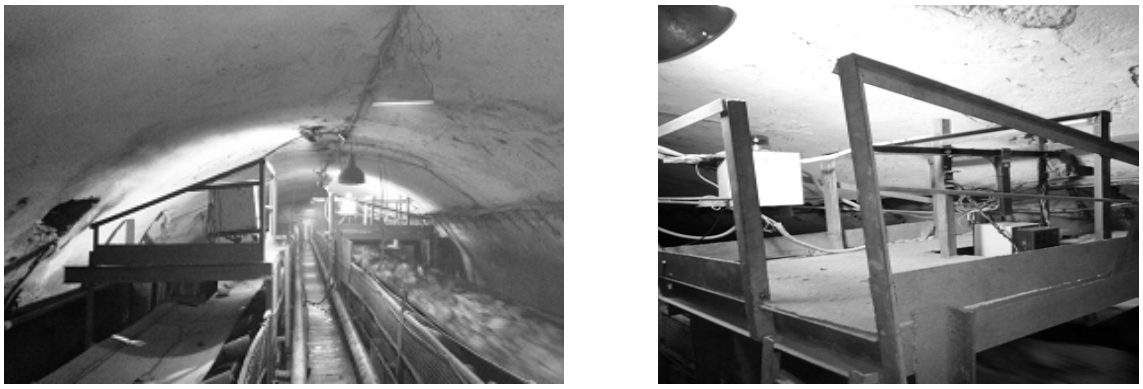


Рис. 2. РКС РЛП-21Т на конвейере № 1А КД-1 ЖОФ-1

Основными конструктивными элементами РКС РЛП–21Т являются: рентгеновская трубка – VF-50J/W/S; высоковольтный источник питания – uX50P50/XCC; полупроводниковый детектор – XR-100SDD X-Ray Detector; ультразвуковой датчик расстояния – MaxBotix MB7067; термоэлектрический модуль – Laird Technologies AA-150-24–44-00-XX; майларовая пленка толщиной не более 20 мкм. РКС оснащены многочисленными датчиками для самодиагностики. Информация обо всех параметрах РКС выдается как в виде подробного отчета, так и в виде краткого отчета. Также выдается отчет за смену по конвейеру: сколько конвейер стоял (с рудой и без руды), сколько находился в движении (с рудой и без руды).

Также ведется электронный «Журнал событий на РКС», в котором фиксируются, в том числе и все случаи ударов металла, поступающего с рудой, по РКС или по её защите. Это важно, так как все РКС установлены до стационарных электромагнитов.

Методическое и математическое обеспечение РКС РЛП-21Т чрезвычайно сложно и не может быть подробно описано в рамках данной работы. В РКС РЛП-21Т, как и во всей аналитической аппаратуре ТОО «Аспап Гео», реализован базовый принцип фирмы: месторождения разные, исходная руда, продукты обогатительного и металлургического переделов разные – градуировка одна.

Вторичные рентгеновские спектры измеряются каждую секунду. Этим обеспечивается процесс непрерывного опробования руды на ленте конвейера. Содержания серебра и кадмия выдаются по 40 спектрам, меди, цинка, свинца и железа – по 20 спек-

трам. Среднее содержание элементов по составу вагонов в целом определяется путем ввода в диалоговое окно, в котором совмещены данные с сервера ЖОФ-1 и ЖОФ-2 (Базы данных «Весы») и инструменты ввода данных операторов РКС, времени начала и окончания разгрузки железнодорожного состава с рудой. После этого автоматически формируется строка в отчетном документе РКС. Результаты «on-line» контроля качества руд сейчас доступны любому пользователю корпорационной сети.

РКС РЛП-21Т выдает на экран монитора динамику (в виде графика) загрузки конвейера рудой. В конвейерной ленте содержится цинк. Когда лента идет пустая, то эти временные интервалы исключаются из обработки.

Остановимся на результатах комплекса исследований, выполненных как в процессе стендовых испытаний РКС, так и непосредственно на тяжелых конвейерах ЖОФ-1, 2.

Расстояние от РКС до руды на ленте конвейера определяется двумя способами: а) ультразвуковым датчиком расстояния (основной); б) по величине рассеянного излучения рентгеновской трубки. Сходимость результатов оценки расстояния обеими способами показана в таблице (табл. 1). Показано, что оба метода дают близкие результаты. Это подтверждает высокую эффективность используемого математического аппарата РКС.

Таблица 1

Сходимость расстояний, определенных ультразвуковым датчиком (УЗВД) и по рассеянному излучению рентгеновской трубки (РИ)

Метод	Расстояние «датчик–проба», см										
УЗВД	22	27	32	27	42	47	52	57	62	67	72
РИ	22.00	27.31	32.65	37.38	41.00	45.63	52.18	58.77	64.22	68.11	71.35

В таблице 2 приведены данные о динамике изменения содержаний Cu, Zn, Pb, Ag. Cd, Fe в одной из эталонных проб в зависимости от высоты подвески РКС. Измерения проведены на стадии стендовых испытаний. Проба насыпалась в железный противень большого размера, высота насыпки пробы в противне выдерживалась одинаковой по всей его площади. Противень с пробой мог перемещаться по вертикали. Показано, что работа РКС мало зависит от высоты зазора «датчик–руда». Именно это обстоятельство считается главным камнем преткновения для большинства РКС, работающих на крупно кусковой руде. Рабочая высота подвески РКС выбрана равной 72 см (до нижней точки прогиба ленты не загруженного рудой конвейера).

Таблица 2

Динамика изменения содержаний элементов в эталонной пробе в зависимости от высоты подвески РКС

Высота, см	**Cu, %**	**Zn, %**	**Pb, %**	**Ag, ppm**	**Cd, ppm**	**Fe, %**
22	0.778	0.613	0.556	10.96	24.38	6.30
27	0.778	0.608	0.547	10.28	22.72	6.20
32	0.763	0.623	0.556	9.71	22.06	6.07
37	0.788	0.620	0.561	12.18	24.23	5.97
42	0.791	0.625	0.563	10.37	23.79	6.01
47	0.771	0.630	0.567	10.68	25.81	5.96
52	0.776	0.609	0.559	12.18	24.92	6.05
57	0.753	0.602	0.553	10.04	23.17	5.82
62	0.733	0.617	0.540	10.22	24.67	6.08
67	0.784	0.633	0.548	11.08	23.07	6.16
72	0.785	0.617	0.545	10.86	23.02	6.17
Среднее	**0.773**	**0.618**	**0.554**	**10.78**	**23.80**	**6.07**

В таблице 3 приведены результаты стендовых испытаний РКС РЛП–21Т на эталонных пробах при экспозиции измерений в каждой пробе 300 с и высоте подвески РКС 72 см. Всего было проанализировано 18 эталонных проб (в таблице 3 приведены результаты по 11 пробам). Все пробы предварительно были проанализированы в Центральной химической лаборатории ПО «Жезказганцветмет».

Таблица 3

Результаты измерения эталонных проб с помощью РКС РЛП-21Т

№№	Cu, %		Ag, ppm		Cd, ppm		Zn, %		Pb, %		Fe, %	
п/п	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС	х/а	РКС
25	0.60	0.59	5.9	4.39	6	5.88	0.10	0.12	0.17	0.18	2.70	2.79
8	0.67	0.68	12.1	12.33	5	6.40	0.08	0.08	0.05	0.03	2.91	2.91
4	0.69	0.70	13.4	15.82	4	5.52	0.03	0.03	0.05	0.06	2.85	2.82
7	0.70	0.76	15.9	14.76	4	3.36	0.03	0.03	0.06	0.07	2.83	2.81
14	0.77	0.70	11.2	12.33	5	3.89	0.08	0.07	0.05	0.06	3.11	3.03
13	0.77	0.76	14.4	13.48	3	3.02	0.02	0.02	0.05	0.06	3.18	3.11
16	0.81	0.80	12.2	13.98	3	2.26	0.03	0.02	0.13	0.14	3.14	3.09
19	0.85	0.87	14.8	16.43	21	25.84	0.21	0.21	0.07	0.09	3.08	2.97
17	0.88	0.89	11.9	12.45	10	9.29	0.14	0.13	0.05	0.05	3.26	3.17
20	1.00	1.06	21.4	22.32	14	15.78	0.15	0.15	0.07	0.08	2.83	2.92
1	1.13	1.14	12.3	13.04	34	32.26	0.26	0.24	0.18	0.17	2.83	2.86
2	1.23	1.18	12.2	10.94	37	41.44	0.07	0.05	0.20	0.19	2.83	2.78
23	2.65	2.66	37.5	37.95	26	24.28	0.34	0.33	0.34	0.33	2.66	2.68
22	2.68	2.56	40.0	39.09	18	16.72	0.26	0.25	0.22	0.23	2.70	2.74
Ср.	1.10	1.10	16.80	17.09	13.57	13.00	0.13	0.12	0.12	0.12	2.92	2.91

В таблице 4 сравниваются текущие результаты работы РКС РЛП-21Т на конвейере № 1 КД-2 ЖОФ-2 с данными вагонного опробования ОТК за период с 14 по 25 октября 2016 г. по поставщикам. Столь небольшой период взят из соображений оптимизации размера текста данной работы. Аналогичные результаты получены и по остальным двум РКС РЛП–21Т.

Таблица 4

Сопоставление содержаний металлов в руде, прошедшей по конвейеру № 1 КД-2 ЖОФ-2 , по данным РКС РЛП-21Т и вагонного опробования ОТК за период с 14 по 25 октября 2016 года

Поставщик	Cu, %		Ag, ppm		Cd, ppm		Zn, %		Pb, %		Fe, %	
	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс	х/а	ркс
шх. 57	0.75	0.74	9.95	9.40	5.56	4.83	0.034	0.031	0.016	0.013	3.10	2.97
шх. 73б	0.73	0.70	17.89	17.73	3.57	3.68	0.026	0.032	0.052	0.049	3.01	2.98
шх. Анн.	0.89	0.85	17.57	15.50	17.23	16.82	0.117	0.101	0.050	0.046	2.77	2.73
зап. порт.	0.64	0.63	9.41	8.93	2.68	3.75	0.008	0.013	0.007	0.009	2.99	3.11
кресто ц.	1.09	1.14	11.44	14.14	3.94	4.48	0.004	0.013	0.011	0.009	3.08	3.17
шх. 65гл	0.66	0.67	14.26	15.18	2.88	4.09	0.013	0.011	0.040	0.032	2.73	2.72
шх. 67	0.67	0.70	14.31	13.98	6.29	5.28	0.008	0.010	0.178	0.167	3.02	2.96
кресто 7	2.61	2.58	37.44	36.23	3.54	3.72	0.021	0.025	0.049	0.064	2.74	2.80
Среднее	1.00	1.00	16.53	16.39	5.71	5.83	0.029	0.030	0.050	0.049	2.93	2.93

В таблице 5 сравниваются среднесуточные содержания меди и серебра по РКС РЛП-21Т на конвейере № 1 КД-2 ЖОФ-2 с данными слива классификатора ГК-2 ЖОФ-2 за период с 15 по 25 октября 2016 года. Аналогичные таблицы сравнений есть по конвейеру № 2 КД-2 ЖОФ-2 и конвейеру № 1А КД-1 ЖОФ-1. Расхождения в этих

таблицах такого же порядка, что и в таблице 5. Это свидетельствует о том, что все три РКС РЛП-21Т справляются с поставленной аналитической задачей.

Таблица 5

Среднесуточные содержания меди и серебра по данным РКС РЛП-21Т и слива ГК-2 ЖОФ-2 за период с 15 по 25 октября 2016 года

Число октября 2016 г.	Cu, %		Ag, ppm	
	ОТК	РКС	ОТК	РКС
15	0.83	0.82	16.30	14.86
16	0.88	0.88	14.90	16.65
17	0.90	0.99	14.80	14.73
18	0.86	0.88	15.30	16.10
19	0.92	0.98	14.10	15.51
20	0.87	0.77	14.90	11.97
21	0.72	0.71	12.40	12.89
22	0.79	0.75	14.00	12.47
23	0.69	0.70	10.70	11.51
24	0.80	0.80	13.40	13.72
25	0.83	0.84	12.80	12.92
Среднее	0.826	0.829	13.96	13.94

Выводы

1. В результате выполненных работ и исследований запущены в работу на конвейерах №1 и № 2 КД-2 ЖОФ-2 и № 1А КД-1 ЖОФ-1 три энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные РКС РЛП-21Т производства ТОО «Аспап Гео» (Алма-Ата, Казахстан).

2. Впервые в цветной металлургии Казахстана, а также стран СНГ, удалось решить проблему достоверного опробования в режиме «on-line» крупнодробленых руд класса 300 мм на медь, цинк, свинец, железо, а также, что самое главное, на серебро и кадмий при низких (5+ ppm) содержаниях последних в рудах. Это открывает широкие перспективы для внедрения РКС РЛП-21Т на остальных обогатительных фабриках ТОО «Корпорация Казахмыс», а также на подземных конвейерах рудников Нурказган и Жомарт.

3. При выборе аппаратуры акцент делался (Программа по импортозамещению РК) на использование в первую очередь продукции казахстанских производителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефименко С.А. Ядерно-геофизические технологии «on-line» контроля качества руд, поступающих на Жезказганскую обогатительную фабрику № 1 / С.А. Ефименко [и др.] // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. 8-е научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – С. 156-160.
2. Yefimenko S. Nuclear–geophysical technologies for online quality control of ores and their processing products applied at corporation Kazakhmys PLC / S. Yefimenko [et al.] // 20th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava: VŠB-TU, 2016. P. 325-331.

MULTICOMPONENT ONLINE ORE CONTROL COMING TO ZHEZKAZGAN ORE MILLS OF «KAZAKHMYS CORPORATION» PLC

Olga Yefimenko[1], Sergei Yefimenko[2], Amirkhan Chakhanov[2]
Erlan Dikhanov[2], Dmitriy Makarov[3]
[1]Kharkov polytechnic university, Kharkov, Ukraine
[2] «Corporation Kazakhmys» LLC, Zhezkazgan, Kazakhstan
[3]Institute of Industrial North Ecology Problems of KSCentre of RAS, Apatity, Russia
serg_yef@mail.ru, makarov@inep.ksc.ru

Abstract. Paper discusses organization issues of multicomponent online control of ore coming to Zhezkazgan ore mills of «Kazakhmys Corporation» PLC. Online control is now installed at all of four heavy-duty conveyors, three of which are supplied with ore-monitoring stations (OMS) RLP-21T («Aspap Geo» LLC, Alma-Ata) and one – with OMS RLP-3-02 («Geotekh» LLC, SPb). Energy-dispersive X-fluorescent method was used for ore testing. Specifically, we are discussing performance of RLP-21T OMS. Analytical work at these OMS was more complicated: they were to determine silver and cadmium contents in the range of 5+ ppm, and also copper, zinc, lead and iron contents. With a grain size of class 300 mm, that was a formidable challenge, with no available similar solutions for non-ferrous metallurgy dressing mills anywhere in the world.
Key words: X-fluorescent method, deposit Zhezkazgan, ore-monitoring station RLP-21T, copper, silver, conveyor, ore quality control

УДК 550.8.053

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Заключнов Игорь Сергеевич
ПГНИУ, г. Пермь
i.zaklyuchnov@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена применению методов многомерного анализа: главных компонент (МГК) и максимального подобия (ММП) при динамической интерпретации сейсмических данных на одном из месторождений Ненецкого автономного округа. С целью прогноза эффективных толщин карбонатных коллекторов выполнено районирование территории по комплексу атрибутов сейсмических записей, определены регрессионные зависимости для отдельных кластеров.
Ключевые слова: сейсморазведка, интерпретация, атрибутный анализ, метод главных компонент, метод максимального подобия

В процессе интерпретации сейсмических данных на территориях со сложной тектоникой, интерпретаторы сталкиваются с рядом проблем, препятствующих грамотному прогнозу фильтрационно-емкостных свойств коллекторов в межскважинном пространстве. Использование стандартных подходов не даёт нужного результата.

В работе представлен вариант использования методов многомерного анализа – метода главных компонент (*Principal Components*) и максимального правдоподобия *(Maximum Likelihood Classification)* при динамической интерпретации сейсмических данных. В качестве объекта исследования была выбрана площадь сейсмических работ 3D в Ненецком автономном округе.

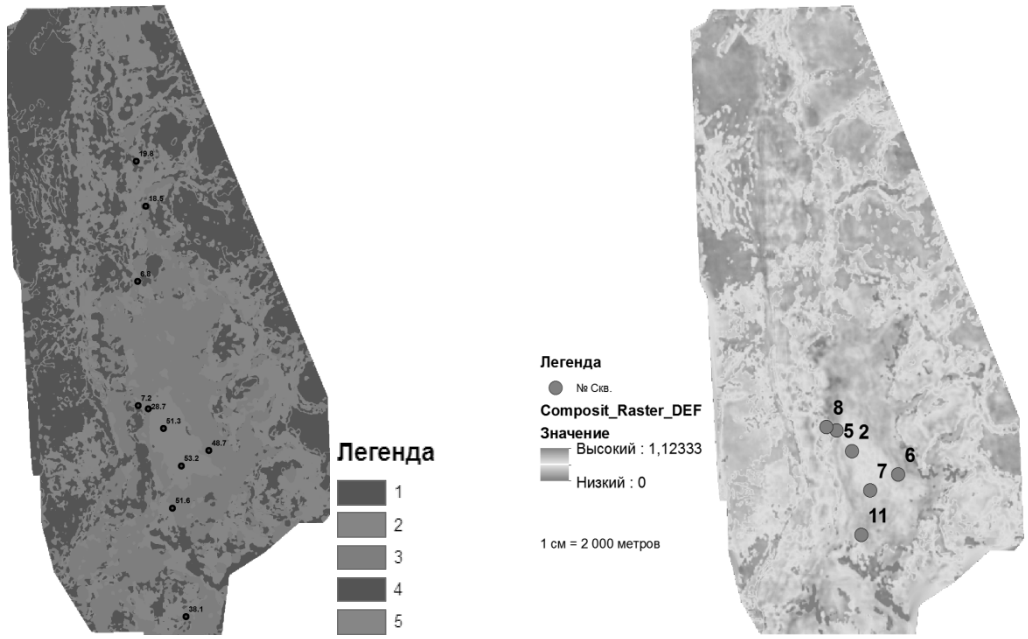
В тектоническом плане район работ расположен в северной части Колвинского мегавала, который в свою очередь является инверсионной структурой крупного и сложнопостроенного надпорядкового элемента Печоро-Колвинского авлакогена. Перспективный по нефтегазоносности – Ярейюский вал, является структурой меньшего порядка и имеет размеры 70×(34×15) км. Залежи углеводородов здесь приурочены к рифогенным структурам ассельско-сакмарского возраста, распространенным преимущественно в восточной части площади работ. Мощность нижнепермских отложений колеблется от 63 до 114 м. При этом толщины коллекторов по скважинным данным варьируют в широких пределах, что свидетельствует о сильной фациальной изменчивости целевых отложений.

С целью прогноза эффективных толщин продуктивных отложений в межскважинном пространстве в окне I_{a+s} – (I_{2+3}-25) мс, соответствующем породам ассельско-сакмарскиго возраста, в программном комплексе *SMT Kingdom* 8.4 были рассчитаны следующие динамические атрибуты сейсмической записи: энергия, мгновенная частота, типы сейсмической записи, Q-фактор и кинематический атрибут – дельта [8].

Каждый из атрибутов отражает определенные особенности сейсмической записи [1, 6]. Энергия рассчитывается как модуль комплексной трассы и характеризует общую мгновенную энергию комплексной трассы, независимо от фазы колебаний. Энергия напрямую связана с контрастом акустического импеданса и подчеркивает отражение одного слоя или целой пачки. Мгновенная частота является производной мгновенной фазы по времени и используется для выделения низкоамплитудных аномалий (например, зон трещиноватости). Q-фактор – физический параметр, обратно пропорциональный поглощению и имеющий тесную связь с пористостью, проницаемостью и трещиноватостью. Параметр дельта представляет разность времен t_0 регистрации отражений от кровли и подошвы целевых отложений. Поскольку рифы являются куполообразными постройками, использование параметра дельта помогает с высокой точностью определить их местоположение по повышенным значениям данного атрибута.

Проведенный корреляционный анализ между значениями эффективных толщин коллекторов и каждого из атрибутов сейсмических записей в местах расположения скважин показал, что коэффициенты корреляции варьируют в широких пределах. Для Q-фактора он составляет 0.9, для атрибутов: энергия и мгновенная частота – менее 0.5, дельты – 0.88, типа сейсмической записи – 0.74 [4]. При этом теснота связи существенно отличается для участков повышенной мощности отложений ($H_{эфф}$ >50 м) и относительно низких значений толщин коллекторов.

При стандартном атрибутном анализе в целях получения хороших коэффициентов корреляции с целевыми параметрами коллекторов применяют их суммирование с предварительной нормировкой [7]. Однако при этом возникает избыточность данных и часть полезной информации теряется. Одним из способов решения этой проблемы является метод главных компонент, позволяющий уменьшить размерность многомерного атрибутного пространства с наименьшими потерями информации. При этом получаемые главные компоненты не коррелируемы между собой. Первая несет до 90 процентов всей дисперсии (энергии) исходных данных, вторая несет в себе информацию о второй по величине дисперсии, не затронутой первой и так далее. В целом, задачами метода являются: визуализация сложного набора данных и оценка значимости вклада каждого из атрибутов многомерного пространства [2].



а) б)

Рис. 1. Результаты многомерного анализа:
а) схема районирования территории по комплексу атрибутов сейсмической записи; б) карта первой главной компоненты

Для проведения многомерного анализа атрибутов сейсмической записи были использованы инструменты модуля *Spatial Analyst* геоинформационной системы *ArcGIS (ESRI, ESRI Inc.)*, которые позволяют осуществлять комплексный анализ геофизических полей на основе классификационных и корреляционных алгоритмов статистического анализа [5].

С помощью инструментов *Iso Cluster* и *Maximum Likelihood Classification* было выполнено районирование территории по комплексу атрибутов сейсмических записей. Выделено 5 классов однородных областей, пространственное распределение которых в пределах изучаемой территории находится в тесной связи с особенностями фациальных обстановок накопления нижнепермских отложений (рис. 1а). Так класс 5 соответствует зоне повышенных значений эффективных толщин пластов-коллекторов ($H_{эфф}$ >50 м), расположенных преимущественно в центральной части крупных рифогенных массивов юго-востока территории. Объекты класса 3 приурочены к склоновым частям крупных рифогенных массивов и серии мелких линзовидных и пластообразных карбонатных тел, толщины коллектора в которых не превышают 10-15 м, а классы 1, 2 и 4 соответствуют зонам уплотненных карбонатных пород более глубоководной части шельфа.

Далее с помощью метода главных компонент (инструмент *Principal Components*) был осуществлен факторный анализ сейсмических атрибутов. В результате в многомерном атрибутном пространстве были выделены не коррелируемые между собой составляющие поля (главные компоненты). Проведенный корреляционный анализ между значениями эффективных толщин коллекторов и главных компонент комплекса атрибутов в местах расположения скважин показал, что первая главная компонента находится в тесной корреляционной зависимости с мощностью продуктивного пласта (рис. 2). При этом выделенным на основе районирования территории классам 5 и 3 соответствуют различные уравнения регрессии, которые можно использовать для прогнозной оценки толщин коллекторов в межскважинном пространстве.

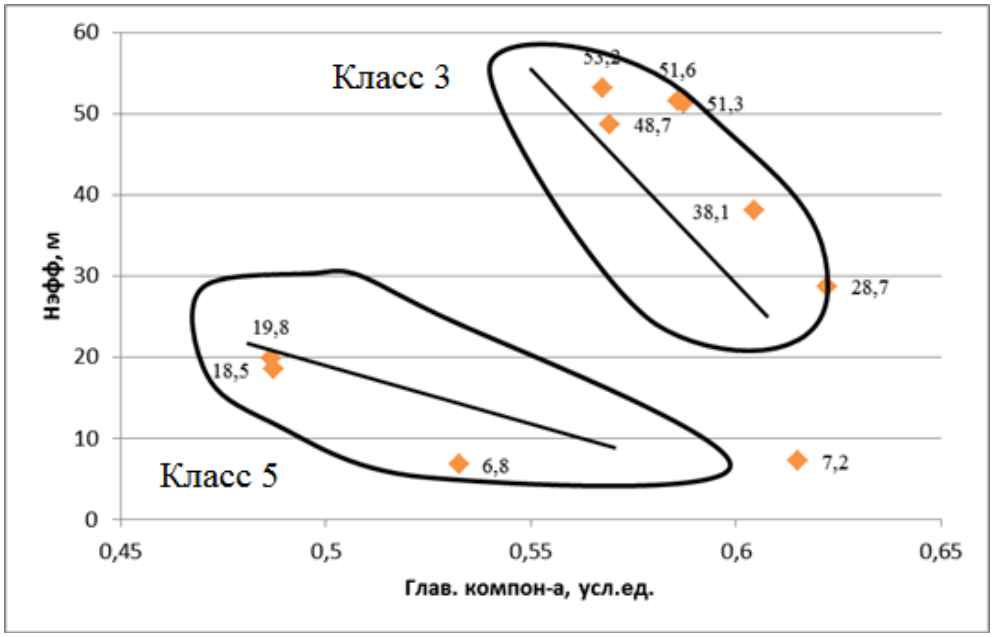


Рис. 2. Кросс-плот зависимости толщины коллектора от первой главной компоненты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа / Ю.П. Ампилов. М.: ООО «Издательство «Спектр», 2008. – 384 с.
2. Бабаянц П.С. Интерпретация аэрогеофизических данных при геологическом картировании кристаллического фундамента / П.С. Бабаянц [и др.] // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://goo.gl/dzBcht (дата обращения: 03.01.2017).
3. Боганик Г.Н. Сейсморазведка: Учебник для вузов / Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич. Тверь: Издательство АИС, 2006. 744 с., 204 ил.
4. Заключнов И.С. Использование комплекса атрибутов сейсмической записи для повышения эффективности прогноза коллекторских свойств / И.С. Заключнов // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы Междунар. науч.-практ. конф. С. 110-113.
5. Митюнина И.Ю. Комплексный анализ геофизических полей в геоинформационной системе ArcGIS / И.Ю. Митюнина // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 23-27 января 2017 г. М: ИФЗ РАН. 2017. С. 252-256.
6. Урупов А.К. Основы трехмерной сейсморазведки: Учебное пособие для вузов / А.К. Урупов. – М. ФГУП Изд-во «Нефть и Газ» РГУ им. И.М. Губкина. – 584 с.
7. Subrahmanyam D. Seismic Attributes A Review. / D. Subrahmanyam, P.H. Rao // 7th Biennial International Conference and Exposition on Petroleum Geohysics: Proceedings; Hyderabad, 208 – P. 398.
8. SMT Kingdom 8.6. User Guide: Rock Solid Attributes for Seismic Interpretation : Rock Solid Attributes Defined.

MULTIVARIATE ANALYSIS IN SEISMIC DYNAMIC INTERPRETATION

Igor S. Zaklyuchnov
Perm State University, Perm
i.zaklyuchnov@gmail.com

Abstract. This article is devoted to application of principal component analysis and maximum likelihood classification to improve the forecast of reservoir thickness of Asselian-Sakmarian deposits in the Nenets Autonomous District (Russia). With a view to forecast net pay of carbonate basin multiattribute seismic data zoning was executed and regressional dependence of separate clusters was defined.
Key words: seismic, interpretation, attribute analysis, principal component analysis, maximum likelihood classification

УДК 550.837

ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Згогурина Полина Сергеевна
ПГНИУ, г. Пермь
polina_120596@mail.ru

Аннотация. Предпосылки для использования электротомографии обусловлены зачастую изучением сложнопостроенных сред. Данный метод способствует решению широкого круга задач, где крайне необходимо детальное изучение свойств участков работ. Обычно для различных методов не свойственно производить измерения на небольшой территории, так как изменения среды распространяются, как правило, на значительные расстояния. Но электротомография стала одним из методов, по которым существует возможность получения сравнительно достоверных данных на малой площади.
Ключевые слова: электротомография, детальное изучение, эксперимент, геоэлектрические разрезы

Роль геофизических методов в изучении верхней части разреза (ВЧР) для потребностей промышленного и гражданского строительства постоянно возрастает. Большинство современных неразрушающих методов исследования ВЧР динамично модернизируются и эффективно применяются. Вследствие этого значимо уменьшаются трудозатраты, а также стоимость работ. При этом стоит отметить, что надежность и правильность результатов, полученных неразрушающими и разрушающими методами, хорошо согласуются. Для детального изучения верхней части разреза, как по площади, так и по глубине, применяется один из геофизических методов – электротомография.

Электротомография или электрическая томография – это современное направление методов сопротивлений, предназначенное для получения двумерных и трехмерных геоэлектрических разрезов, особенностью которого является многократное использование в качестве питающих и измерительных одни и те же фиксированные на профиле наблюдений положения электродов. Это приводит к уменьшению общего чис-

ла рабочих положений электродов при существенном увеличении плотности измерений. Методом электротомографии возможен анализ геологического разреза с разных позиций источника и проектирование измененного геологическими объектами сигнала на приемные линии, что существенно расширяет круг решаемых задач. Важно, что для изучения геоэлектрических разрезов, значительно отличающихся от горизонтально-слоистых, применение электротомографии является необходимым условием для надежной интерпретации. Метод оперирует большими объёмами данных от первых тысяч для двумерной, до десятков и первых сотен тысяч измерений для трехмерной электротомографии, вследствие чего легче производить отбраковку материала.

С использованием метода было выполнено обследование территории фундамента сооружения в Соликамском районе Пермского края. Исследование было направлено на определение особенностей инженерно-геологического строения массива грунтов в основании фундамента, а также на выявление участков развития инженерно-геологических процессов, которые вызвали осадку фундамента.

В силу того, что площадь небольшая, было решено поставить эксперимент по плотному расположению приемных и питающих электродов. Площадь сооружения составляла 64 м². Профили располагались на расстоянии 2 м в количестве 10 шт. (рис. 1). Для регистрации результатов измерений использовалась электроразведочная аппаратура СКАЛА 64 (ООО «КБ Электрометрии», г. Новосибирск). Аппаратура попеременно производит коммутацию и использует для измерений различные сочетания электродов. Таким образом, в результате измерений получают информацию о распределении удельного электрического сопротивления по разрезу. В качестве основной использовалась трехэлектродная расстановка. Общее количество электродов в одной расстановке до 32. Шаг по профилю составил 25 см. Электроды забивались на глубину не менее 0.1 м, что способствовало лучшему заземлению. Также для того, чтобы уменьшить приповерхностное сопротивление, область вокруг заземленного электрода увлажнялась.

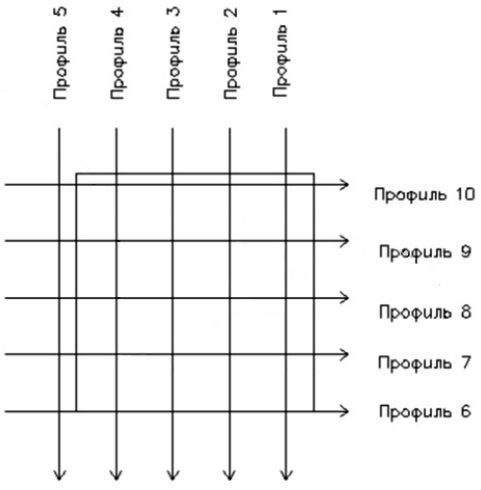


Рис. 1. Расположение профилей по площади фундамента сооружения

В ходе обработки и интерпретации в автоматизированной системе ZondRes2d (Каминский А.Е., г. Санкт-Петербург) были построены геоэлектрические разрезы, на которых выделялись области относительно низких и высоких сопротивлений (рис. 2). В итоге были сделаны выводы о том, что на участке работ присутствуют глинистые и сильно-минерализованные грунты различной консистенции, в том числе тугопластичные и мягкопластичные, которые отличаются по сопротивлениям. Наличие на площадке таких разнородных грунтов и повлекло неравномерную осадку фундамента и его дальнейшее разрушение.

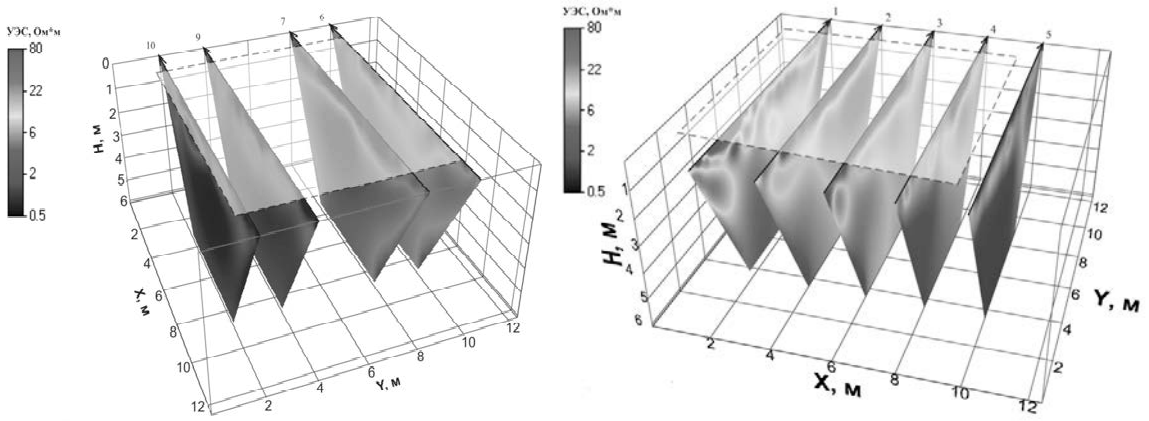


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы, полученные по площади сооружения

В целом, качество и детальность интерпретации данных электротомографии зависит от плотности сетки измерений. А поскольку размер участка крайне мал, то плотность наблюдений имеет принципиальное значение, и в данном случае полностью определила получение информативных результатов. Таким образом, в результате правильного выбора метода и параметров системы наблюдений обнаружены причины разрушения фундамента, а также показано, что электротомография с высокой плотностью сети измерений дает положительный результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А.А. Электротомография – высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе / А.А. Бобачев, А.Г. Яковлев, Д.В. Яковлев // Инженерная геология. – №3. – 2007. – С. 31-35.
2. Балков Е.В. Опыт применения электротомографии в геофизике / Е.В. Балков [и др.] // Геофизика. – №6. – 2012.– С. 54- 63.

MEDIUM PROPERTIES DETAILED STUDY BY MEANS OF ELECTRICAL TOMOGRAPHY

Polina S. Zgogurina
Perm State University, Perm
polina_120596@mail.ru

Abstract. Opportunity for electrical tomography use is frequently caused by complicated medium study. This method contributes to solve a wide variety of problems where it is imperative to study in detail properties of work area. It is unusual for different methods to take measurements on a small area, as environment changes are generally distributed widely. But electrical tomography has become one of the methods possible to obtain reliable data on relatively small area.
Key words: electrical tomography, detailed study, experiment, geoelectric section

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 553.98(571)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ ЯМАЛА)

Искоркина Альбина Альбертовна, Стоцкий Виталий Валерьевич
Томский политехнический университет, г. Томск
iskorkina.a@mail.ru, Stotskiy_VV@sibmail.com

Аннотация. Методом палеотемпературного моделирования выполнена оценка влияния факторов палеоклимата – векового хода температур на земной поверхности и толщ вечной мерзлоты – на расчетный геотермический режим баженовской свиты на землях Ямала. Установлено, что учет палеоклимата дает оптимальную и наиболее «богатую» термическую историю нефтематеринских отложений.

Ключевые слова: палеоклимат, геотермический режим, баженовские отложения, палеотемпературное моделирование, Ямал

Введение

В наших работах [5, 8] исследовалось влияние *векового хода температур на поверхности Земли*, а также *неоплейстоценовой мерзлоты* на термическую историю и реализацию нефтегенерационного потенциала материнских баженовских и тогурских отложений *южной* палеоклиматической зоны Западной Сибири. Получена оценка существенного влияния этих факторов палеоклимата.

Цель настоящих исследований – оценить влияние мезозойско-кайнозойского хода температур на земной поверхности и неоплейстоценовой толщи мерзлоты на расчетный геотермический режим баженовских отложений *северной* палеоклиматической зоны Западной Сибири (на примере Арктического нефтегазового месторождения Южного Ямала). Эта задача приобретает особую актуальность для количественной оценки перспектив нефтегазоносности арктических территорий [10].

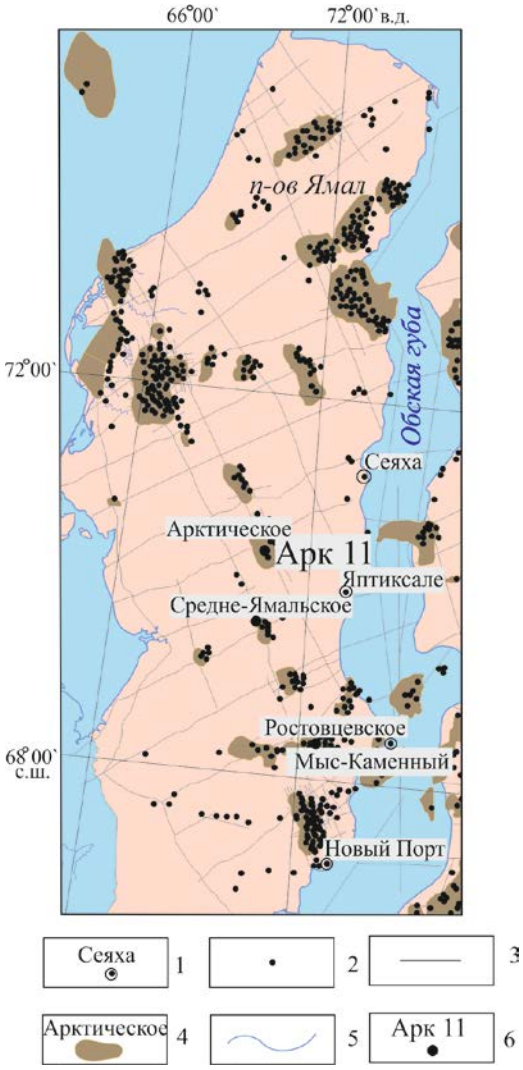
Объект и методика исследований

Моделирование [4] палеогеотемпературных условий баженовских отложений выполнено для скважины 11 (табл. 1, рис. 1).

Посвитная разбивка от подошвы осадочного чехла до верхнего мела, включая березовскую свиту, взята по данным ИНГГ СО РАН (2015). Расчленение нижнесреднепалеогеновых свит от ганькинской до ирбитской заимствовано из материалов ВСЕГЕИ (2016), вышележащие толщи расчленены на основе работ ИНГГ СО РАН и СНИИГГиМС (2002, 2011).

Генерационный потенциал баженовских отложений в разрезе Ямала обусловлен содержанием РОВ гумусово-сапропелевого типа с достаточно высоким содержанием $C_{орг}$ – от 1 до 2 % (ИНГГ СО РАН, 2016). По отражательной способности витринита (ОСВ) – R^0_{vt} =0.96% – в пределах Арктической площади баженовская свита находится в конце главной зоны нефтеобразования (ГЗН).

Оценка выполняется на основе анализа вариабельности результатов палеотемпературных реконструкций 4-х вариантов: *1 вариант* – без учета векового хода температур (ВХТ) на поверхности земли, без учета вечной мерзлоты (ВМ); *2 вариант* – с учетом «стандартного» ВХП [1], без учета ВМ; *3 вариант* – с учетом «арктического» ВХТ,



без учета ВМ; *4 вариант* – учет «арктического» ВХТ, учет ВМ. «Арктический» ВХТ и вековой ход неоплейстоценовой ВМ построены нами на основе анализа и обобщения данных 50 научных публикаций [6].

Основным критерием адекватности и предпочтительности результатов из четырех вариантов выступает согласованность максимума расчетных геотемператур с «наблюденными» температурами «максимального палеотермометра» – с температурами, определенными по ОСВ. В той же степени важна согласованность («невязка») расчетных геотемператур и с «наблюденными» пластовыми температурами. *Оптимальная* «невязка» – это средняя квадратичная разность расчетных и наблюденных значений, равная погрешности «наблюдений» [9]. Эта погрешность порядка ±2°С.

Рис. 1. Обзорная схема территории исследований:
***1* – населенный пункт и его название;**
***2* – поисково-разведочная скважина;**
***3* – сейсмический профиль работ МОГТ 2D;**
***4* – контур месторождения и его название;**
***5* – гидрография и береговая линия;**
***6* –моделируемая скважина Арктическая 11 и ее индекс**

Таблица 1

Характеристика разреза скважины Арктическая 11

Характеристики	Значение
Забой, м	3624
Отложения на забое (свита)	Левинская (J_1lv)
Кровля баженовской свиты (J_3+K_2bg), м	2792
Мощность баженовской свиты, м	16
Мощность палеогеновых отложений, м	223
Мощность неоген-четвертичных отложений, м	280
Размыв палеоген-неогеновых отложений (14.5-18.5 млн. лет назад), м	535
Размыв неогеновых отложений (4.1-5.4 млн. лет назад), м	113
Характеристики	Значение
Мощность вечномерзлых пород в плиоцен-квартере (0.52-0.18 млн. лет назад), м	600
Мощность вечномерзлых пород в плиоцен-квартере (0.18-0.0 млн. лет назад), м	300
Результаты испытаний верхнеюрских-нижнемеловых пластов	Не испытывались
Измеренные пластовые температуры (свита; глубина замера; температура, °С)	Левинская; 3533 м; 125. Левинская; 3560 м; 126.
«Измеренные» температуры по ОСВ (глубина отбора; (R^0_{vt}); температура, °С)	2000 м; (0.65); 100°С 2500 м; (0.80); 120°С

Результаты

В случае учета «арктического» ВХТ и ВМ «невязка» результатов моделирования наиболее оптимальна (табл. 2, *вариант 4*). В неприемлемом по «невязке» *варианте 1* материнская свита «пережила» самую «холодную» главную фазу нефтеобразования.

Таблица 2

Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур, расчетных значений теплового потока и палеотемпературного максимумы в скважине Арктическая 11

Глубина, м	Измеренные температуры, °С	Расчетные, *1 вариант*, С		Расчетные, *2 вариант*, °С		Расчетные, *3 вариант*, °С		Расчетные, *4 вариант*, °С	
		Значение	Разница	Значение	Разница	Значение	Разница	Значение	Разница
2000	100 (по ОСВ)	91	-9	97	-3	99	-1	102	+2
2500	120 (по ОСВ)	109	-11	115	-5	117	-3	121	+1
3533	125 (пластовые)	133	+8	128	+3	126	+1	124	-1
3560	126 (пластовые)	133	+7	129	+3	127	+1	125	-1
Среднеквадратическое отклонение («невязка»), ºС		±9		±4		±2		±1	
Расчетный тепловой поток из основания, мВт/м^2		55.7		54.1		56.4		58.4	
Палеотемпературные максимумы ГЗН баженовской свиты, °С		119		125		128		132	

Заключение

При учете регионального («*арктического*») векового хода температур и *толщи плейстоцен-четвертичной мерзлоты* получаем оптимальную и наиболее «богатую» термическую историю нефтематеринских отложений. Поэтому рекомендуется при расчете ресурсов углеводородов объёмно-генетическим методом (бассейновое моделирование) на землях арктического региона Западной Сибири применять «арктический» вековой ход температур и учитывать динамику толщи неоплейстоценовой мерзлоты.

Приведенный выше материал вполне согласуется с данными исследований, показывающих влияние факторов палеоклимата как на температурный режим осадочно-вулканогенных и магматических комплексов [2, 3], так и на термическую историю непосредственно нефтематеринских отложений [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00080 мол_а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности / Ю.И. Галушкин. – М.: Научный Мир, 2007. – 456 с.
2. Голованова И.В. Методика расчета глубинных температур с учетом исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока / И.В. Голованова, Р.Ю. Сальманова, Ч.Д. Тагирова // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 9. – С. 1426–1435.
3. Демежко Д.Ю. Реконструкции долговременных изменений теплового потока через земную поверхность по данным геотермии глубоких скважин / Д.Ю. Демежко, А.А. Горностаева // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 12. – С. 1841–1846.

4. Исаев В.И. Интерпретация данных гравиметрии и геотермии при прогнозировании и поисках нефти и газа: учебное пособие / В.И. Исаев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 172 с.
5. Исаев В.И. Мезозойско-кайнозойский ход температур на поверхности Земли и геотермический режим юрских нефтематеринских отложений (южная палеоклиматическая зона Западной Сибири) / В.И. Исаев, А.А. Искоркина // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36. – № 5. – С. 64–80.
6. Искоркина А.А. Палеоклиматические факторы реконструкции термической истории нефтематеринской баженовской свиты арктического региона Западной Сибири / А.А. Искоркина // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов – 2016. – Т. 327. – № 8. – С. 59-73.
7. Лобова Г.А. Влияние палеоклимата на геотермический режим и нефтегенерационный потенциал баженовской свиты (на широтах Томской области) / Г.А. Лобова [и др.] // Известия ТПУ. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 45-50.
8. Лобова Г.А. Влияние палеоклимата на геотермический режим и реализацию нефтегенерационного потенциала баженовских отложений юго-востока Западной Сибири (Новосибирская область) / Г.А. Лобова, В.В. Стоцкий, В.И. Исаев // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т.9. – №3. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/ 31_2014.pdf
9. Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии / В.И. Старостенко. – Киев: Наук. думка, 1978. – 228 с.
10. Хуторской М.Д. Геотермия арктических морей / М.Д. Хуторской. – М.: ГЕОС, 2013. – 232 с.

ASSESSMENT OF PALEOCLIMATE IMPACT ON GEOTHERMAL MODE OF OIL SOURCE DEPOSITS OF ARCTIC REGIONS OF WESTERN SIBERIA (CASE STUDY OF YAMAL)

Albina A. Iskorkina, Vitaly V. Stotskiy
Tomsk Polytechnic University, Tomsk
iskorkina.a@mail.ru, Stotskiy_VV@sibmail.com

Abstract. Assessment of paleoclimate impact, based on paleotemperature modeling – secular variation of temperatures above ground and permafrost mass – on estimated geothermal mode of Bazhenov formation at Yamal's land has been executed. It has been established that paleoclimate correction gives optimum and the «richest» thermal history of oil source deposits.
Key words: paleoclimate, geothermal mode, Bazhenov deposits, paleotemperature modeling, Yamal Peninsula

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.837

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АДСОРБЦИИ, ДИФФУЗИИ И ТЕЧЕНИЯ В МЕТОДЕ СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Исламгалиев Дмитрий Владимирович
УГГУ, г. Екатеринбург
dif1205@mail.ru

Аннотация. Математическая модель генерации электрического поля в процессе течения или диффузии флюида строится в рамках полевого подхода, то в качестве функции объекта следует взять, например, плотность функции Лагранжа, что приведет к лагранжевой теории процесса. Основой построения математической модели процесса эволюции объекта в рамках полевой теории является обобщенный принцип Гамильтона.
Ключевые слова: электрическое поле, спонтанная поляризация, адсорбция, диффузия, фильтрация

Рассмотрим математическую модель генерации электрических полей явлениями адсорбции, диффузии и течения в методе спонтанной поляризации с общих позиций математического моделирования, в рамках модели сплошной среды. Так как математическая модель генерации электрического поля в процессе течения или диффузии флюида должна строиться в рамках полевого подхода, то в качестве функции объекта следует взять, например, плотность функции Лагранжа, что приведет к лагранжевой теории процесса. Плотность функции Лагранжа равна [1, 2]:

$$\Lambda\left(q^j, \frac{\partial q^j}{\partial x^\alpha}, \frac{\partial q^j}{\partial t}, \mathbf{r}, t\right) = w_{кин} - w_{пот}. \qquad (1)$$

Здесь $w_{кин}$ – плотность кинетической энергии, $w_{пот}$ – плотность потенциальной энергии.

Плотность кинетической энергии (кинетическая энергия единицы объема) имеет вид:

$$w_{кин} = \frac{1}{2}\rho\mathbf{v}^2 + \frac{1}{2}C\mathbf{v}^2 + \omega, \qquad (2)$$

где ρ – плотность флюида, кг/м^3; $\mathbf{v}$ – скорость течения жидкости, м/с; α – параметр, приводящий к размерности плотности энергии, 1/м^2; C – концентрация растворенного вещества, кг-экв/м^3; D – коэффициент диффузии, м^2/с; ω – плотность энергии двойного электрического слоя, кг/(м·с^2).

Слагаемые (2) обусловлены плотностью кинетической энергии, где первое слагаемое в выражении (2) – обычная плотность кинетической энергии жидкости. Появление в (2) второго слагаемого обусловлено диффузией, возникающей за счет переноса вещества. Третье слагаемое в (2) – плотность энергии двойного электрического слоя, обусловлено затраченной энергией $E = \int_\Omega \omega d\Omega$ по сближению зарядов противоположных знаков (катионов и анионов) и образованием двойного слоя, $\omega = \frac{1}{2}\overline{\rho}\,\boldsymbol{\upsilon}^2$, $\boldsymbol{\upsilon}$ – средняя скорость зарядов, м/с; $\overline{\rho}$ – объемная плотность зарядов, кг/м^3.

Тогда вариация кинетической энергии:

$$\delta w_{кин} = \left(-\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - C \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial C}{\partial t} - \overline{\rho} \frac{\partial \boldsymbol{\upsilon}}{\partial t} \right) \delta \mathbf{r} . \quad (3)$$

Учитывая тот факт, что внутренние силы работу не производят, плотность потенциальной энергии представим в следующей форме [2]:

$$w_{пот} = -P \cdot \mathbf{div} \mathbf{r} + \left(-k_n D \mathbf{grad} C, \mathbf{v} \right) + \overline{\rho} U + \left(\mathbf{i}_n, \mathbf{A} \right) + \tilde{A} . \quad (4)$$

Здесь P – давление, приводящее флюид (жидкости) в движение, Па; k_n – коэффициент пористости; U – потенциал двойного электрического слоя, В; $\mathbf{i_п} = \sigma\left(\mathbf{E} + \left[\boldsymbol{\upsilon}, \mathbf{B}\right]\right)$ – плотность полного тока, А/м^2; $\mathbf{A}$ – вектор-потенциал электромагнитного поля, А; $\mathbf{B}$ – магнитная индукция, Тл, $\tilde{A}$ – вариация работы внешних сил, кг/(м·с^2).

Слагаемые в выражении (4) является частью плотности потенциальной энергии. Появление первого слагаемого (4) обусловлено течением флюида, протекающим через проницаемую среду. Но учитывая, что при движении жидкости любой ее выделенный объем не изменяет своей величины, но может менять форму), слагаемое должно быть добавлено в выражение (4). Второе слагаемое (4) определяет изменение концентрации вещества. Третье слагаемое (4) учитывает потенциал двойного электрического слоя, создаваемого на границе твердой и жидкой фаз. Четвертое слагаемое определяет электрическое (электромагнитное) поле. Пятое слагаемое учитывает влияние внешних сил.

В результате получим вариацию плотности потенциальной энергии:

$$\delta w_{пот} = \left[\mathbf{grad} P + \mathbf{div}\left(-k_n D \mathbf{grad} C \right) \mathbf{v} + \overline{\rho} \left(\mathbf{grad} U + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right) + \left[\mathbf{i_п}, \mathbf{B} \right] + \mathbf{F} \right] \delta \mathbf{r} , \quad (5)$$

где $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3$ – вариация внешних сил электрического поля, кг/(м^2·с^2).

В случае если скорость течения Дарси $\mathbf{v}$ постоянна, то появятся слагаемые:

$$\tilde{A} = \frac{\mu}{c} \left(\mathbf{v}, \mathbf{r} \right) + \mathbf{div}\left(C \, \mathbf{v} \right) \cdot \left(\mathbf{v}, \mathbf{r} \right), \quad \delta \tilde{A} = \left[\frac{\mu}{c} \mathbf{v} + \mathbf{div}\left(C \, \mathbf{v} \right) \cdot \mathbf{v} \right] \delta \mathbf{r} , \quad (6)$$

где μ – динамическая вязкость флюида, Па·с; c – гидравлическая проницаемость, м^2.

Подставляя плотность функции Лагранжа (1) с учетом выражений (2), (4) в уравнения Лагранжа [1], и вычисляя, входящие в уравнения системы производные с учетом преобразований работ [3, 4], окончательно приходим к следующей системе дифференциальных уравнений с частными производными [2], которая является уравнением движения объекта:

$$\begin{cases} -\rho \dfrac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{grad} P - m_1 \left[\mathbf{i_п}, \mathbf{B} \right] - \mathbf{F}_1 = 0, \\ -C \dfrac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \dfrac{\partial C}{\partial t} - \mathbf{div}\left(-k_n D \mathbf{grad} C \right) \mathbf{v} - m_2 \left[\mathbf{i_п}, \mathbf{B} \right] - \mathbf{F}_2 = 0, \\ -\overline{\rho} \dfrac{\partial \boldsymbol{\upsilon}}{\partial t} - \overline{\rho} \left(\mathbf{grad} U + \dfrac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right) - m_3 \left[\mathbf{i_п}, \mathbf{B} \right] - \mathbf{F}_3 = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где коэффициенты m_1, m_2, m_3 показывают наличие электрического поля во всех трех уравнениях, определяющих течение флюида, диффузию вещества и адсорбцию соответственно, при условии $m_1 + m_2 + m_3 = 1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурнев В.Б. Математическое моделирование. Непрерывные детерминированные модели / В.Б. Сурнев. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2013. – 689 с.

2. Исламгалиев Д.В. Математическая модель генерации электрического поля в методе спонтанной поляризации / Д.В. Исламгалиев, В.Б. Сурнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. № 10. С. 337-343.
3. Ванько В.И. Вариационное исчисление и оптимальное управление: Учеб. для вузов / В.И. Ванько, О.В. Ермошина, Г.Н. Кувыркин // Под. ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, – 488 с.
4. Батыгин В.В. Современная электродинамика, часть 1. Микроскопическая теория: Учебное пособие / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 736 с.

MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRIC FIELD OF ADSORPTION, DIFFUSION AND FLOW GENERATION IN SPONTANEOUS POLARIZATION METHOD

Dmitrij V. Islamgaliev
UrSMU, Ekaterinburg
dif1205@mail.ru

Abstract. There is a strict theoretical foundation built to describe the method of spontaneous polarization, specifically: mathematical model of study object (in form of Lagrangian density), which is a porous, permeable geophysical medium filled with fluid. Constructed Lagrangian density function leads to the system of partial differential equations that combined with corresponding boundary conditions describe the process of generating electric field in method of spontaneous polarization.
Key words: electric field, spontaneous polarization, adsorption, diffusion, filtration

УДК 553.983

ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ И ТЕХНОЛОГИИ КАРТИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТИ

Кайтукаев Алексей Русланович
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск
xronix70@gmail.com

Аннотация. Термин «сланцевая нефть» сейчас популярен в нефтяной промышленности. Но что же такое сланцевая нефть и, самое главное, как ее найти? В данной статье изучены методы поиска сланцевой нефти, такие как палеотемпературное моделирование и геологический анализ, а также приведена краткая информация о нетрадиционной нефти.
Ключевые слова: сланцевая нефть, палеотемпературное моделирование, геологический анализ, баженовская свита

Введение

Нетрадиционная нефть, или как у нас именуется нефть из плотных пород (низкопроницаемых коллекторов) – «сланцевая нефть» (сланец – общий петрологический термин, охватывающий целый ряд твердых, многослойных пелитовых пород, или твердых мелкозернистых пород). Именно такой термин сегодня чаще всего

применяется для обозначения всего многообразия «нетрадиционных» источников нефти, требующих для своей добычи применения специальных технологий (многоствольные горизонтальные скважины, многостадийные разрывы, микросейсмические и микроскановые наблюдения). В эту же группу часто включают нефть, не мигрировавшую в вышележащие или прилегающие к нефтематеринской формации толщи, то есть запечатанные в генерирующей толще [5]. Например, в России: последние 5 лет фиксируется тренд снижения добычи нефти в основном нефтедобывающем регионе РФ – Западносибирском. Поэтому обращено внимание на залежи нефти непосредственно в баженовской нефтематеринской свите, как на источник существенного улучшения сырьевой базы, с предварительной оценкой запасов в 248 млрд. баррелей в нефтяном эквиваленте [3]. Именно поэтому проблема поисков и освоения сланцевой нефти уже перешла в практическую плоскость экономики разработки месторождений.

Ключевым фактором, детализирующим характеристику материнской свиты, как питающей выше/ниже лежащие слои нефтегазоносного комплекса или как сланцевой формации, являются время действия и температурный режим главной фазы нефтеобразования, нефтяного окна. Иначе говоря, основные объемы нефти, генерированной, аккумулированной или мигрировавшей в коллектор, локализуются там, где материнские отложения в большей степени находятся/находились в главной зоне нефтеобразования [2]. Системный подход к резервуарам сланцевой нефти, как к нефтегазоперспективным объектам, является трудной задачей и находится в стадии разработки. Эта трудность возникает как из новизны самой проблемы, так и из отсутствия четких принципов прогнозного районирования нефтематеринской формации с точки зрения ранжирования зон и площадей по степени перспективности, что является достаточно существенной проблемой в вопросе разработки сланцевой нефти, так как ее себестоимость существенно выше, чем у традиционной нефти.

Технологии и методики

Рассмотрим ***технологию зонального районирования***, базирующуюся на методе палеотемпературного моделирования. Восстановление термической истории материнских отложений выполняется на основе палеотектонических и палеотемпературных реконструкций. Метод палеотемпературного моделирования основан на численном решении уравнения теплопроводности. Метод позволяет на первом этапе, по «наблюденным» температурам в скважине, рассчитать тепловой поток через поверхность осадочного чехла. На втором же этапе, зная тепловой поток, рассчитываются геотемпературы в любых заданных точках осадочной толщи в любой момент геологического времени. В математическую модель непосредственно включены климатический вековой ход температур на земной поверхности, как краевое условие, и палеотемпературы из определений отражательной способности витринита (геохимический метод, используемый для определения зрелости материнской породы за счет измерения содержания в нем витринита – вида растительной органической материи), как «наблюденные». Объектом палеотемпературного моделирования является осадочный разрез представительной глубокой скважины. Такие скважины выбираются по следующим критериям, выполняемым одновременно:

1) наличие замеров пластовых температур, используемых в качестве «наблюденных» для палеотемпературного моделирования;

2) наличие ощутимых притоков флюида при испытании пластов, что повышает достоверность пластовых температур;

3) наличие определений максимальных геотемператур из отражательной способности витринита, используемых в качестве «наблюденных», что существенно повышает достоверность результатов палеотемпературного моделирования;

4) достаточно равномерное распределение скважин по территории исследования, что является важным условием корректности последующей интерполяции при построении прогнозных карт, в итоге по понятным причинам таких скважин немного [3].

Также имеет место предполагаемая ***методика геологического анализа,*** разработанная с учетом зарубежного опыта. Эта методика позволяет выделять и ранжировать перспективные районы, определять точки заложения поисковых скважин (место бурения скважины). Суть метода заключается в относительно недорогом геологическом анализе: рассматриваемые «сланцевые» формации вскрыты многочисленными скважинами и пройдены сейсмическими профилями, которые как раз и используются в анализе. Непосредственно сама методика опирается на условия наличия нефти и газа в «сланцевых» формациях [6]:

– содержание органического вещества в формации более 1%;

– соответствующая термическая (катагенетическая) зрелость этого органического вещества;

– пористость отложений не менее 3% (чтобы сланец содержал в этих порах достаточные для разработки объемы углеводородов);

– наличие перекрывающих и подстилающих толщ, обеспечивающих удержание углеводородных флюидов в нефтематеринской формации.

Методика поисков разделена на 5 следующих этапов:

1. Локализация областей развития прогнозных сланцевых формаций. Выделение толщ, обогащенных органическим веществом и имеющих верхние и нижние флюидоупоры, по данным разреза отложений осадочного чехла вскрытые скважинами.

2. Определение содержания органического вещества и степени его преобразованности в выделенных формациях. С помощью стандартных аналитических методов составляются участки карт с содержанием органического вещества более 1%, далее определяется катагенез и исключаются участки, не отвечающие условиям.

3. Изучение структурных и палеоструктурных характеристик прогнозных сланцевых формаций. Осуществляется с целью исключения из прогнозных участков формаций, находящихся близко от дневной поверхности, испытавших тектонические движения (инверсия, опускание) в процессе геологического развития, а также нарушенности формаций дизъюнктивной тектоникой. Данные участки неблагоприятны для дальнейшего сохранения углеводородов в формации.

4. Изучение литологических особенностей прогнозных сланцевых формаций и их коллекторских свойств. Определяется, какая часть исследуемого сланцевого поля обладает минимальным коллекторским потенциалом (не менее 3%) и содержит примеси карбонатов или кремнистости не менее 30% (для удержания сетки трещин, образующихся при гидроразрыве), то есть приемлема для разработки.

5. Оценка надежности флюидоупоров, ограничивающих прогнозные сланцевые формации. Определяется их надежность по структурным и литологическим условиям строения: в составе пород менее 20% хрупких составляющих, толщина более 10 м, изучается открытость покрышек за счет развития разрывных нарушений.

Обсуждение

Американский метод тоже достаточно интересен: при разработке сланцевых полей встречаются участки с резко увеличенными притоками, американцы их называют

«Sweet Spots» – «Лакомые Кусочки», в русской терминологии – это законсервированные очаги генерации углеводородов. В большинстве поисковых скважин, пробуренных в перспективном поле развития сланцевой формации, получают небольшие притоки газа. При получении значительного притока углеводородов ставятся специальные сейсмические работы, по результатам которых отслеживается развитие эффективного коллектора. Геологи уловили эту особенность, с тех пор в американской практике поисковые работы, в значительной степени, свелись к поискам «Sweet Spots». Данные участки ищут сейсмическими методами трехкомпонентной (3К) сейсморазведки, которая приблизительно в 2 раза дороже метода сейсморазведки 3D, а также занимает очень продолжительное время [1].

Но помимо достаточно сложной технологии поисков запасов «нетрадиционной нефти», проблема заключается также в рентабельности этих запасов, так как большинство сланцевых отложений имеют общее содержание органического углерода в среднем более 3%, то есть где-то в диапазоне 3-5%, что достаточно мало. Кроме того, сланцы можно рассматривать как термически незрелые материнские породы, которые еще не прошли этап генерации нефти, такую «зачаточную» нефть называют керогеном, то есть обязателен процесс, позволяющий превратить кероген в знакомую нам традиционную нефть [4].

Заключение

«Сланцевая» или нетрадиционная нефть – одно из самых приоритетных направлений нефтяной промышленности, в реалиях уменьшения запасов традиционной нефти, но оно же имеет множество негативных сторон, не позволяющих занять уверенное лидерство в области нефтяной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жарков А.М. Концептуальные модели формирования и методика поисков углеводородов в наиболее значимых «сланцевых» формациях России / А.М. Жарков // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 4. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/11/47_2015.pdf
2. Исаев В.И. Экспресс-районирование материнской свиты по плотности ресурсов генерированной нефти (на примере Нюрольской мегавпадины) / В.И. Исаев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 3– С. 23–37.
3. Исаев В.И. Районирование мегавпадин Томской области по плотности ресурсов сланцевой нефти / В.И. Исаев [и др.] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2016. – Т. 11. – № 1. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/1_2016.pdf
4. Морариу Д. Некоторые аспекты нефтеносности сланцев: понятийная база, возможности оценки и поиск технологий извлечения нефти / Д. Морариу, О.Ю. Аверьянова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 1. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/9/3_2013.pdf
5. Прищепа О.М. К обсуждению понятийной базы нетрадиционных источников нефти и газа – сланцевых толщ / О.М. Прищепа, О.Ю. Аверьянова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 3. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/9/27_2013.pdf
6. Жарков А.М. Оценка потенциала сланцевых углеводородов России / А.М. Жарков // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2011. – №3. – С. 16-21.

© ГИ УрО РАН. 2017

SEARCH CRITERIA AND TECHNOLOGY SURVEY OF SHALE OIL

Alexey R. Kaytukaev
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk
xronix70@gmail.com

Abstract. Term «shale oil» is now popular in the oil industry. What is shale oil and what's the main how to find it? Exploration technique of shale oil, such as paleotemperature modeling and geological analysis, and brief information about the non-conventional oil are given in this article.
Key words: shale oil, paleotemperature modeling, geological analysis, Bazhenov formation

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ЗАПИСЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В КАРЬЕРЕ «СЕБРЯКОВСКИЙ» ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

[1,2]Калинина Элеонора Владимировна, [2]Войтова Анастасия Сергеевна
[1] Воронежский государственный университет, г. Воронеж
[2] ФИЦ Единая геофизическая служба РАН, г. Воронеж
elakalinina@gmail.com, zaklyukovskaya@gmail.com

Аннотация. В работе выявлены особенности записей волнового поля промышленных взрывов в карьере «Себряковский» по данным сейсмических станций региональной сети наблюдения ВКМ «Желтые пруды» (NUD2) и «Новохоперск» (VRH).
Ключевые слова: промышленные взрывы, взрывы, сейсмология, волновые поля

На территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в настоящее время действует более 20 карьеров, в которых проводятся горные работы с использованием взрывных технологий. Ежегодно станциями сети сейсмического мониторинга ВКМ регистрируется около 400 взрывов 1-10 энергетического класса. При этом для каждого из карьеров характерна своя методика взрывных работ, что находит свои особенности в записях промышленных взрывов на каждой сейсмической станции. Записи волнового поля взрывов зависят от многих факторов, основными из которых являются: технология производства взрывных работ, свойства геологической среды на трассе «взрыв-приёмник», в месте установки сейсмической станции и геологического строения в районе расположения карьера [1-3].

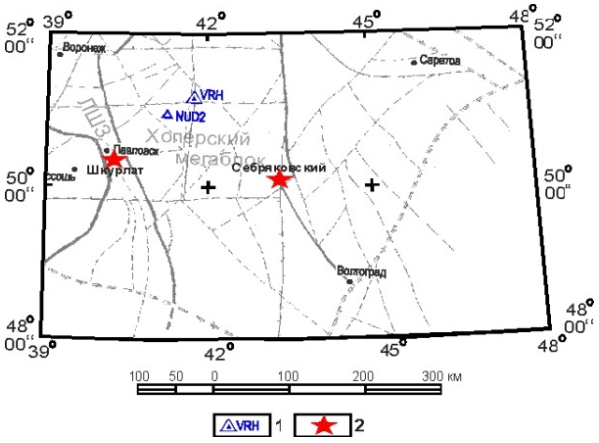
В тоже время, ежегодно в регионе регистрируются местные тектонические землетрясения, эпицентры которых располагаются как в пределах ВКМ, так и на сопредельной территории. Энергетический класс этих землетрясений сопоставим с энергетическим классом промышленных взрывов [4].

Проблема определения природы сейсмических событий при составлении региональных каталогов является одной из важнейших и актуальных для территории ВКМ. В настоящее время предложены несколько способов распознавания промышленных взрывов и землетрясений [1, 2, 5, 6]. Однако сложность проблемы заключается в том, что способы, которые хорошо зарекомендовали себя в конкретном регионе, не являют-

ся универсальными [7]. В связи с этим, возникает необходимость выявлять характерные особенности записей волнового поля промышленных взрывов каждого конкретного карьера, чтобы в дальнейшем использовать эту информацию при идентификации природы сейсмических событий.

В данной работе рассмотрены некоторые характеристики записей волнового поля промышленных взрывов «Себряковского» карьера, расположенного в Волгоградской области, по данным сейсмических станций региональной сети наблюдения «Желтые пруды» (NUD2) и «Новохоперск» (VRH). Карьер расположен на правому берегу р. Медведицы, рядом с г. Михайловка (рис. 1); добывается известняк, который залегает в осадочном чехле. Разработка месторождения началась с 50-х годов прошлого века и продолжается по настоящее время. Его размеры 4×2 км, глубина около 60 м. Карьер находится на удалении 160 и 170 км от сейсмических станций «Новохоперск» и «Желтые пруды» соответственно.

На рисунке приведен пример записи волнового поля промышленного взрыва 8-го энергетического класса в карьере «Себряковский» по данным сейсмических станций NUD2 и VRH, и его амплитудно-частотные спектры (рис. 2а). На записях достаточно уверенно выделяются группы продольных и поперечных волн. Для сравнения на рисунке (рис. 2б) представлена характерная запись волнового поля и амплитудно-частотный спектр взрыва в карьере «Шкурлат» Kp=7.4, который был ранее описан в работах [1, 2]. Он расположен на расстоянии 100 и 140 км от станций «Желтые пруды» и «Новохоперск», соответственно (рис. 1).



1 – Сейсмическая станция; 1 – карьер

Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций «Желтые пруды» (NUD2), «Новохоперск» (VRH) и карьеров «Шкурлат» и «Себряковский»

В карьере производится добыча гранита в кристаллическом фундаменте, с использованием взрывчатого вещества массой 300 т и более. Характерной особенностью записей волнового поля промышленных взрывов в карьере «Шкурлат» (и ранее исследуемых карьеров, расположенных в пределах ВКМ) является наличие достаточно представительной группы поверхностных волн. Данная особенность является одним из основных критериев отличия промышленных взрывов от тектонических землетрясений [1, 2]. На записях взрывов в карьере «Себряковский» группа поверхностных волн слабо выражена, что может стать причиной неправильного определения природы сейсмического события и привести к ошибке при составлении регионального каталога. Максимальные спектральные амплитуды записей волнового поля карьера наблюдаются в частотном диапазоне 1.0-4.0 Гц, что так же является отличительной особенностью данного карьера от ранее изученных записей взрывов других карьеров, расположенных в

пределах ВКМ и сопредельных территорий [1-3]. Для записей промышленных взрывов карьера «Шкурлат» характерно наличие спектральных максимумов в двух других частотных диапазонах 0.3-0.8 Гц и 5.0-20.0 Гц.

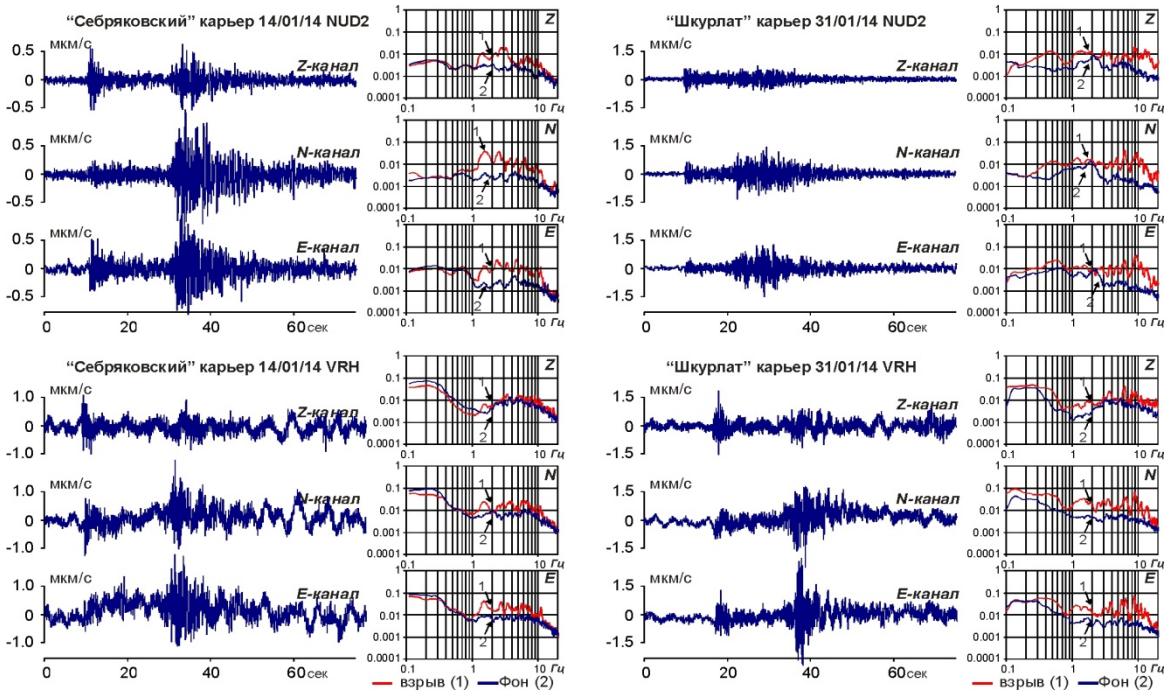


Рис. 2. Примеры записей волновых форм и амплитудно-частотных спектров взрывов в карьерах «Себряковский»(а) и «Шкурлат» (б) по данным сейсмических станций «Желтые пруды» (NUD2) и «Новохоперск» (VRH)

При построении спектрального отношения сейсмического события к фону более наглядно видны особенности волнового поля записей промышленных взрывов этих карьеров. Для этого из регионального каталога было отобрано 12 взрывов в «Себряковском» карьере и столько же взрывов в карьере «Шкурлат», записанных сейсмическими станциями «Желтые пруды» и «Новохоперск». Из полученных спектральных отношений взрывов к региональному фону, были построены осредненные спектральные отношения для каждого из карьеров (рис. 3).

В спектральных отношениях записей взрывов в карьере «Шкурлат» (рис. 3а, б) явно выделяется два максимума, один из которых находится в диапазоне частот 0.3-0.8 Гц, превышает фон в 5-10 раз, данный максимум, возможно, соответствует группе поверхностных волн [1-3]. В этом же частотном интервале в спектральных отношениях записей взрывов «Себряковского» карьера отношения сигнал к фону равно 1 как для станции VRH, так и NUD2 (рис. 3в, г). Второй максимум спектральных отношений записей волнового поля карьера «Шкурлат» выделяется на частоте 5.0-20.0 Гц, и превышает региональный фон в 5-20 раз в зависимости от сейсмической станции (рис.3а, б). Данный максимум соответствует группе объёмных волн. Выделенный максимум также не находит отражения в спектральных отношениях записей карьера «Себряковский». Для карьера «Себряковский» характерны два локальных максимума в диапазоне частот 1.0–4.0 Гц, превышающих микросейсмический шум в 4-8 раз. Несовпадение максимумов в спектральных отношениях записей карьеров может быть связанно с геологическими особенностями строения (в карьере «Себряковский» ведется добыча известняка в осадочном чехле, а в карьере «Шкурлат» производится добыча гранита в кристаллическом фундаменте).

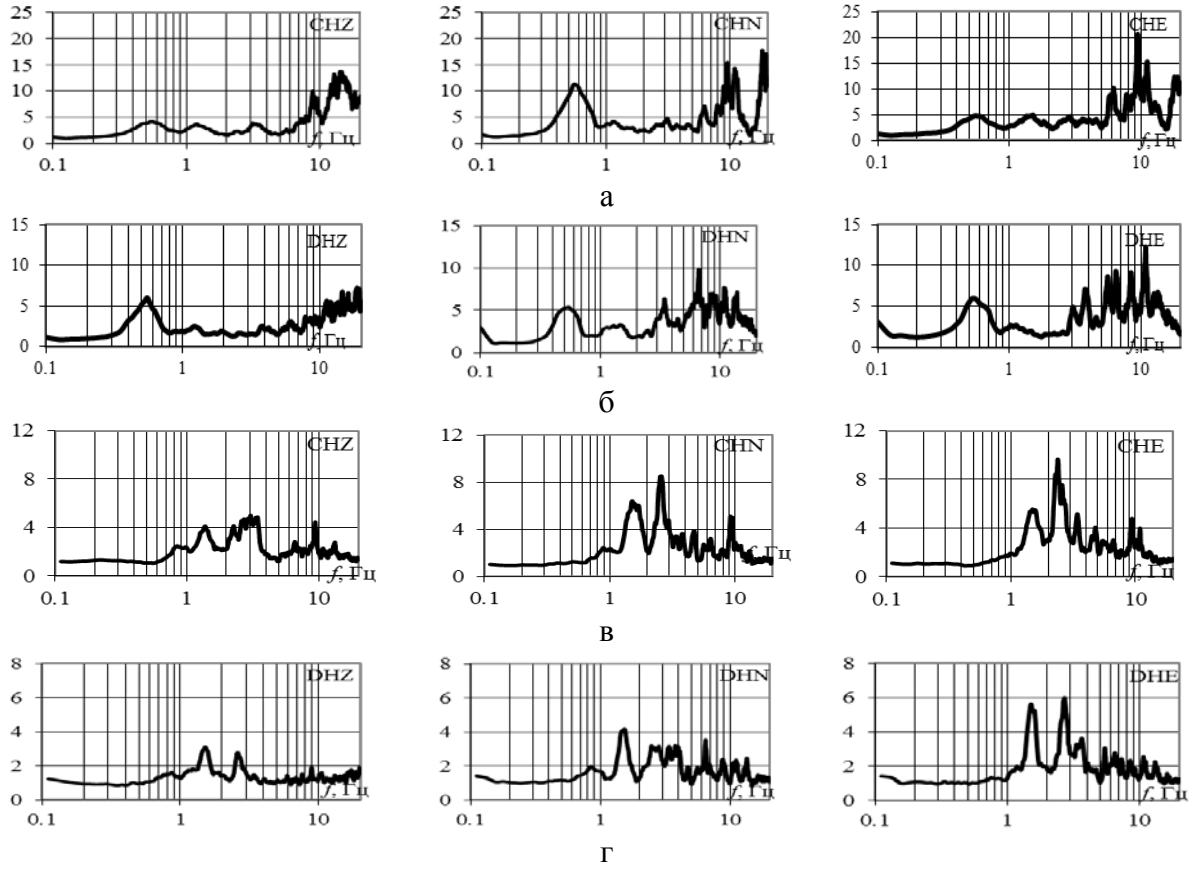


Рис. 3. Осредненные спектральные отношения: **карьер «Шкурлат » по данным сейсмических станций а) «Желтые пруды» б) «Новохоперск; «Себряковский» карьер по данным сейсмических станций: в) «Желтые пруды» г) «Новохоперск»**

Дополнительным параметром для интерпретации такого сейсмического события как промышленный взрыв в карьере «Себряковский», рассмотрена возможность использования спектрального отношения волны *Pg* и *Sg*. Были рассчитаны спектральные отношения группы *Pg* и *Sg* волн для 12 промышленных взрывов в карьере «Себряковский» по данным сейсмических станций «Желтые пруды» и «Новохоперск». На всех рассчитанных спектральных отношениях максимум спектральных амплитуд *Pg*/*Sg* промышленных взрывов наблюдается в частотном диапазоне 5.0-20.0 Гц. Для станции «Желтые пруды» (NUD2) среднее значение, по рассмотренным событиям, составило 1.21±0.13, а для станции «Новохоперск» (VRH) – 1.27±0.17.

Результаты

Были выявлены следующие характерные особенности записей промышленных взрывов в карьере «Себряковский» по данным сейсмических станции «Желтые пруды» и «Новохоперск»:

– слабо выраженная группа поверхностных волн как на записях исходного волнового поля, так в амплитудно-частотных спектрах. При этом, в амплитудно-частотных спектрах на характерных для этой группы волн частотах 0.4-1.0 Гц (как на спектрах записей взрыва из карьера «Шкурлат») максимум не наблюдается, он смещен в более высокочастотную область;

– наличие двух локальных максимумов спектральных амплитуд в диапазоне частот 1.0–4.0 Гц;

– построено осредненное спектральное отношение записей промышленных взрывов в карьере «Себряковский» на сейсмических станциях «Желтые пруды» (NUD2)

и «Новохоперск» (VRH). Рассчитано среднее отношение спектральных амплитуд *Pg*/*Sg* по записям промышленных взрывов в карьере «Себряковский», которое составило 1.21±0.13 на записях станции «Желтые пруды» и 1.27±0.17 на станции «Новохоперск».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А.Е. Основные особенности волновых полей промышленных взрывов в крупных карьерах на территории Воронежского кристаллического массива / А.Е. Семенов, М.А. Ефременко, Р.С. Пивоваров // XII Уральская молодежная научная школа по геофизике. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2011.
2. Пивоваров С.П. Спектральные образы наиболее сильных промышленных взрывов по данным сейсмостанции «Сторожевое» / С.П. Пивоваров, А.Е. Семенов, Э.В. Калинина // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 252-255.
3. Пивоваров С.П. Некоторые особенности записей маломощных взрывов и слабых землетрясений на Воронежском кристаллическом массиве / С.П. Пивоваров, И.Н. Сафронич // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 180-183.
4. Надежка Л.И. О землетрясениях на территории Воронежского кристаллического массива / Л.И. Надежка [и др.] // Вестник ВГУ. Серия «Геология». –2010. –№1. – С. 233-242.
5. Асминг В.Э. Использование спектрально- и частотно-временных вариаций сейсмических сигналов для различия землетрясений и взрывов в Евро-Арктическом регионе / В.Э. Асминг, С.В. Баранов // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы, Петергоф. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 23-27.
6. Голубева И.В. О распознавании промышленных взрывов и региональных землетрясений на примере Западно-Уральской сейсмической сети станций / И.В. Голубева, Е.Н. Старикович, Е.В. Шарифьянова // Материалы Второй международной сейсмологической школы, Пермь. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С 89-92.
7. Добрынина А.А. Распознавание слабых землетрясений и промышленных взрывов в районе Восточно-Бейского разреза (Хакасия, Россия) / А.А. Добрынина, В.И. Герман // Вестник НЯЦ РК.. – 2016. Выпуск 2. – С. 96-99.

SOME WAVEFIELD CHARACTERISTICS OF BLASTS RECORDS IN «SEBRYAKOVSKY» OPENCAST MINE IN VOLGOGRAD REGION

[1,2]Eleonora V. Kalinina, [2]Anastasia S. Voitova
[1]Voronezh State University, Voronezh
[2]FRC GS RAS, Voronezh
elakalinina@gmail.com, zaklyukovskaya@gmail.com

Abstract. Wavefield records of blasts in «Sebryakovsky» opencast mine according to seismic stations of regional monitoring network VCR «Zheltie prudy» (NUD2) and «Novohopersk» (VRH) are characterized in the paper.

Key words: blasts, explosions, seismology, wave fields

УДК 550.34.03

ПУТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Кичигин Максим Викторович, Бутырин Павел Генрихович
ГИ УрО РАН, г. Пермь
kichiginmv@mi-perm.ru, pbg2000@mail.ru

Аннотация. В рамках создания проекта системы мониторинга рассмотрены применяемые технические и организационные решения, необходимые для создания масштабных сейсмических сетей.
Ключевые слова: сейсмологический мониторинг, сейсмический датчик, сейсмический регистратор, сети передачи данных, сбор и автоматическая обработка данных

Положительный опыт применения сейсмологического мониторинга на объектах Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) всегда способствовал развитию систем мониторинга на рудниках. В свое время поэтапное развитие мониторинговых наблюдений привело к созданию четырехуровневой системы [1], охватывающей все шахтные поля рудников гг. Соликамск и Березники, а также потенциально опасные участки на поверхности. На 2018 год запланировано значительное расширение как подземной, так и поверхностной части системы на всех масштабных уровнях. При этом предполагается модернизация системы и приведение всей аппаратной и программной части к единому виду и формату [2].

Значительное расширение системы до более чем 150 сейсмопавильонов, включая подземные и поверхностные, изменяет концепцию сбора данных и повышает требования к автоматизированной обработке событий. Кроме того, становится трудно обойтись без комплексного контроля состояния элементов системы и средств сигнализации. Рассматривая особенности построения такой масштабной сети, будет целесообразно разделить ее на несколько слоев:

1) сейсмические датчики;
2) регистраторы;
3) сети передачи данных;
4) система синхронизации времени;
5) программы сбора и автоматизированной обработки данных.

Сейсмические Датчики

Выбор сейсмических датчиков обусловлен требуемым частотным и динамическим диапазонами, опытом эксплуатации и доступностью оборудования (табл. 1). Для скважинных (поверхностных) сейсмопавильонов выбраны трехкомпонентные геофоны G4.5 (IMS Австралия), а для подземных – Mini Seismonitor (трехкомпонентная сборка из датчиков HS-1, OYO GeoSpace, США).

Регистраторы

Разработка нового сейсмического регистратора [3] производилась не только с учетом современных технико-эргономических требований к геофизической аппаратуре, но и конкретных проектных особенностей будущей системы мониторинга. Наиболее оптимальным решением является применение 3-канального комплекта, потребляемая мощность которого в автономном режиме минимальна и составляет 150 мВт, что поз-

воляет вести регистрацию сигналов на внутренний носитель в течение длительного интервала времени. Прибор предоставляет все необходимые параметры для мониторинга состояния оборудования:

1) температура,
2) напряжение питания,
3) свободное пространство на носителе информации,
4) точность хода часов,
5) средний уровень шума на каналах.

Таблица 1

Технические характеристики геофонов

Характеристики	Датчик	
	G4.5	***Mini Seismonitor***
Собственная частота, Гц	4.5	2
Коэффициент преобразования, В/м/с	28	77
Допустимый угол наклона, º	2	2
Максимальное смещение, мм	4	2.5
Примерная полоса пропускания, Гц	3 – 2000	2 – 2000
Размеры, мм (диаметр × высота)	80×300	178×127

Данные с регистратора не только передаются по сети, но и собираются на съемном носителе. Так, при длительных перебоях в связи, есть возможность ретроспективного получения информации как путем копирования ее со съемного носителя, так и через web-интерфейс. Доступная навигация по файловой системе внутреннего накопителя дает возможность выбрать временной интервал для загрузки данных.

Установка и эксплуатация такого количества приборов не обходится без отладочных мероприятий. Для этого создается база данных, где описывается жизненный цикл каждого регистратора и датчика. Анализ содержимого такой базы позволяет выявить слабые места в сложной аппаратной структуре.

Сети передачи данных

Для передачи данных с поверхностных сейсмопавильонов возможно использовать сотовые каналы связи, а также Wi-Fi, который связывает все сейсмопавильоны в одну прозрачную локальную сеть с помощью Wi-Fi-мостов. Теоретическая пропускная способность цифровых радиоканалов в стандарте 2G и Wi-Fi на расстояние до 10 км является достаточной для передачи данных трехкомпонентных станций с частотой оцифровки до 2500 Гц. Конечным оборудованием для радиосвязи на поверхностной станции является GSM-шлюз (модель IRZ RUH2), а для Wi-Fi сети – Wi-Fi-маршрутизатор (модель Mikrotik Metal 5).

Сравнительно низкая потребляемая регистратором мощность (0.8-0.9 Вт при использовании GPS, с непрерывной передачей данных и с отключенным дисплеем) позволяет отказаться от использования бытовой или производственной электросети и применить в ряде случаев солнечные батареи. В качестве буферного источника питания поверхностной станции используется аккумулятор емкостью не менее 40 Ah, обеспечивающий ее непрерывную работу до 10 дней. Контроллер питания переключает питание станции на аккумулятор лишь в темное время суток, днем питание станции и подзарядка аккумулятора происходят от солнечных батарей. Декабрь самое сложное время в средних и северных широтах для использования солнечной энергетики. Учитывая уровень суточной радиации, характерный для широты 60° в декабре и равный около 0.86 кВт/м^2, рассчитана минимальная мощность солнечных батарей равная 200 Вт. Такая конфигурация обеспечит мощность для потребителей около 15 Вт.

Использование солнечных батарей уже показало хорошие результаты. На графике (рис. 1) можно увидеть, как изменяется напряжение на аккумуляторах в течение дня на полевых автономных сейсмопавильонах, которые ведут мониторинг в непрерывном режиме. Сейсмопавильоны оборудованы регистраторами GS (ISS International Ltd) и WiFi-маршрутизаторами MikroTik. Передача данных ведется непрерывно. Общее потребление составляет около 12.5 Вт/ч, то есть около 3-х суток непрерывной работы от аккумулятора.

При работе регистратора в триггерном режиме и передаче данных раз в час можно добиться увеличения работы непрерывной работы от аккумулятора до 10 дней.

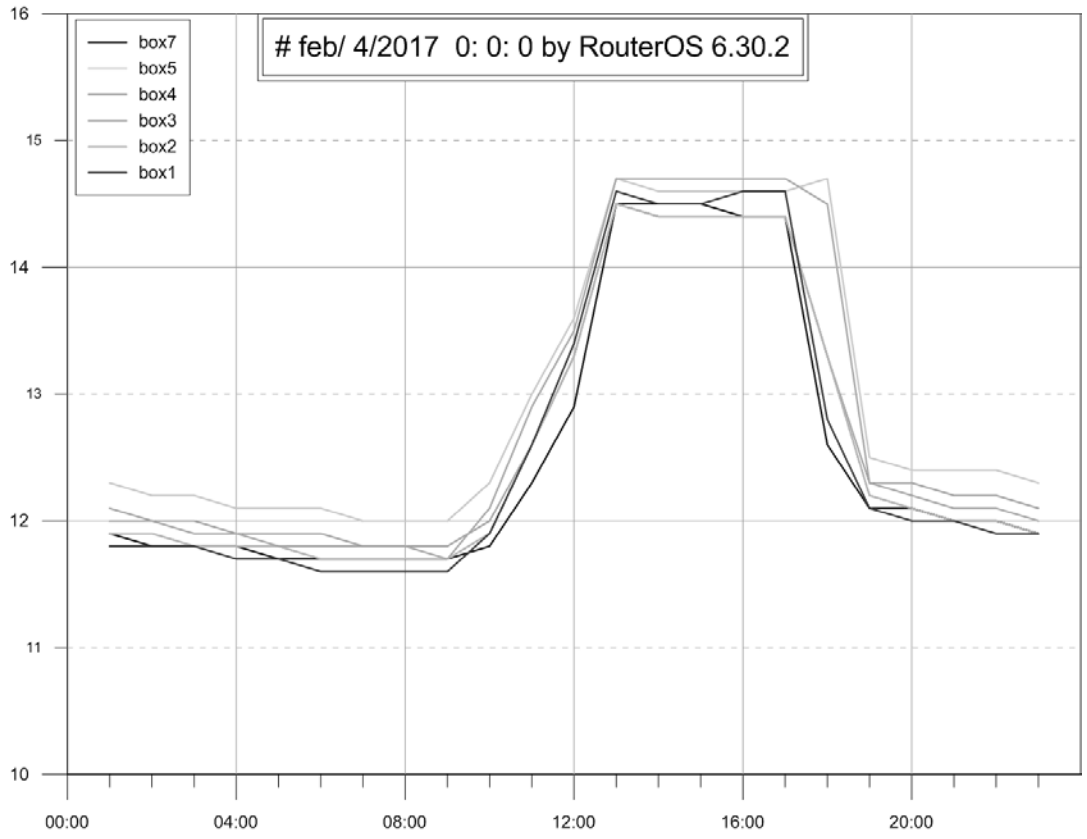


Рис. 1. График напряжения аккумулятора автономного сейсмопавильона

Сейсмопавильоны, расположенные в горных выработках, соединены с компьютерами сбора данных на поверхности по IP-сети (рис. 2). Штатным средством соединения являются DSL-модемы, встроенные в регистраторы. Однако, можно использовать оптические линии связи совместно с оптическими конвертерами. Учитывая, что рудник имеет два ствола, предусмотрено резервирование линии передачи данных от DSL-мультиплексоров до центра обработки данных (ЦОД). В основном питание подземных сейсмопавильонов осуществляется от шахтной электросети с использованием источников бесперебойного питания. Резервным вариантом питания является сама DSL-линия, по которой напряжение может быть подано непосредственно от DSL-мультиплексора (PoDSL). Резервный способ имеет ограничения на длину линии – 8.5 км.

Следует отметить, что при использовании PoDSL-технологии можно по одной линии передавать питание, данные и сигналы точного времени.

Система синхронизации времени

Основным источником времени является GPS или GLONASS сеть. Поверхностные станции используют встроенные средства приема сигналов точного времени. При

этом можно использовать внутреннюю или выносную антенну. Для синхронизации приборов, расположенных в шахте, предусмотрены серверы точного времени, которые, ориентируясь на данные GPS/GLONASS, синхронизируют все приборы в шахте. На каждый рудник предусмотрен отдельный сервер времени.

Регистраторы устроены так, что при пропадании временной синхронизации они в течение 1-2 часов могут сохранять синхронность данных на приемлемом уровне.

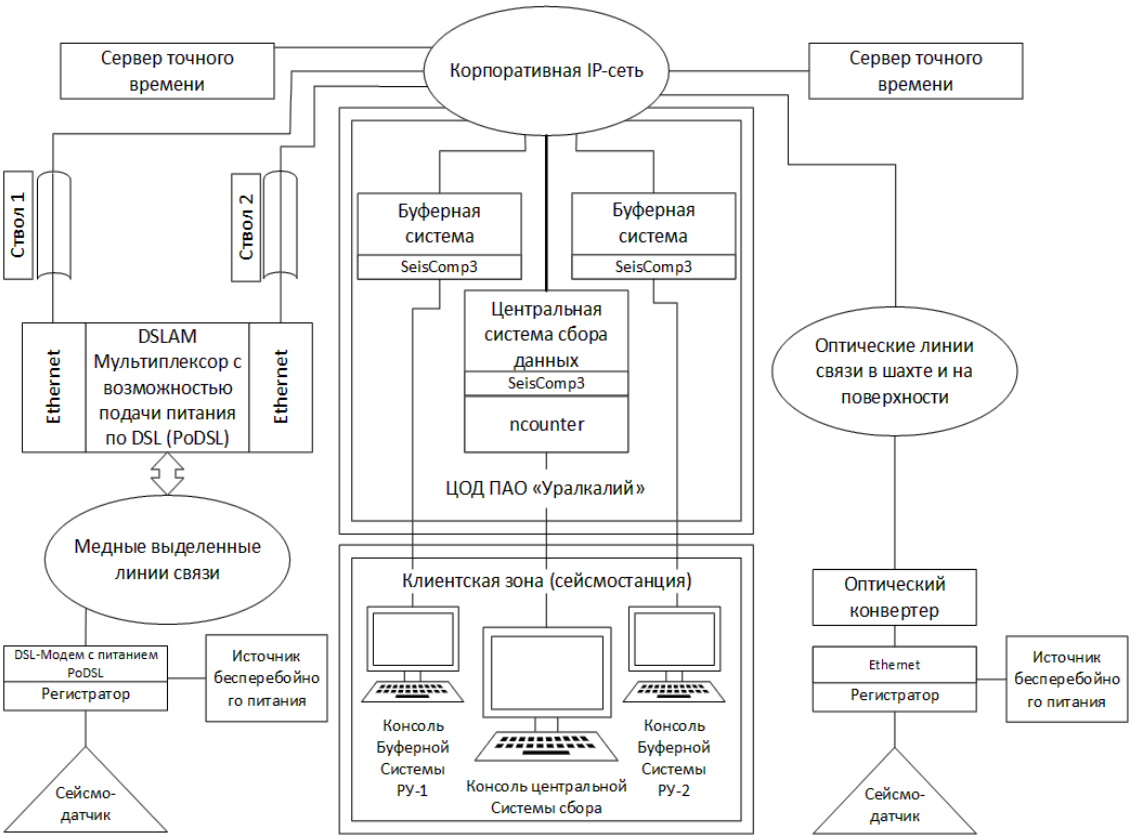


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга

Программы сбора и автоматизированной обработки данных

Сбор и автоматизированная обработка данных выполняется на основе программных пакетов SeisComp3[4] и NCounter (разработка ГИ УрО РАН). Все сервисы и приложения системы сбора расположены в пространстве ЦОД. Сбор данных осуществляется каскадно, причем компьютеры первичного уровня (буферные) расположены территориально на соответствующих рудниках, а центральный узел системы – в общем кольце ЦОД. Учитывая объем одновременно обрабатываемых потоков данных (более сотни станций, каждая из которых создает поток до 1 Гб/сутки) и непрерывный режим работы с ними, в концепции ЦОД предусмотрена горячая замена жестких дисков и блоков питания.

Для детальной обработки информации и управления системой сбора предусмотрены терминалы и автоматизированные рабочие места на территории сейсмостанции. При этом работоспособность терминалов не влияет на ход сбора и автоматической обработки информации.

Инструментом для детальной обработки является пакет программ Location [5], приспособленный для работы с сигналами, полученными в неблагоприятных условиях, то есть при наличии очень высокого уровня сейсмических и электрических помех. Для этого используется набор фильтров, работающих как в частотной, так и во временной областях. Таким образом, можно определять координаты гипоцентров сейсмических

событий в средах с произвольной скоростной моделью при помощи оригинальных алгоритмов локации с использованием различных типов волн.

Заключение

Разработка такого масштабного проекта заставила нас пересмотреть подходы к установке и обслуживанию систем сейсмологического мониторинга и позволила вывести решение текущих задач на новый технологический и организационный уровень. На данный момент многие программно-аппаратные элементы системы проходят индивидуальное и комплексное тестирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маловичко А.А. Четырехуровневая система сейсмического мониторинга на территории Среднего Урала / А.А. Маловичко [и др.] // Геофизика. №5, 2011. С. 8-17.
2. Бутырин П.Г. Модернизация систем сейсмологического мониторинга ВКМКС / П.Г. Бутырин // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.45-47.
3. Бутырин П.Г. Технические и прикладные особенности цифровой телеметрической системы SeisView-5 / П.Г. Бутырин // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. Вып. 13. Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. С. 198-200.
4. SeisComP3 documentation [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.seiscomp3.org/wiki/doc , свободный. – Загл. с экрана.
5. Шулаков Д.Ю. Система обработки данных локального сейсмического мониторинга Location Свидетельство № 2011615651 о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2011.

DEVELOPMENT WAYS OF SEISMIC MONITORING SYSTEM AT VERKHEKAMSKOE POTASH DEPOSIT

Kichigin Maksim, Butyrin Pavel
MI UB RAS, Perm, Russia

Abstract. Within creating project of seismic monitoring system’s boundaries technical and administrative solutions are considered. It helps to create extensive seismic networks.

Key words: seismological monitoring, seismic sensor, seismic recorder, data network, data collection and automatic data processing

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.380.8

ОБОЛОЧКА ПЕШЕХОДНОГО МАГНИТОМЕТРА ДЛЯ ОС ANDROID

Красовский Дмитрий Александрович[1], Цидаев Александр Григорьевич[1,2]
[1]ФГАОУ ВО «УрФУ им. Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
[2]ИГФ УрО РАН им. Ю.П. Булашевича, г. Екатеринбург

Аннотация. Приводится описание разработанной программной оболочки для встроенного в устройства на базе ОС Android магнитометра.
Ключевые слова: магнитометр, Android

В связи с невероятно широким проникновением мобильных телефонов в повседневную жизнь возникает задача использовать предоставляемые ими вычислительные мощности и аппаратные средства для наблюдения и первичной обработки потенциальных полей. В первую очередь речь здесь может идти о геомагнитных измерениях, поскольку в большинстве серийно выпускаемых современных сотовых телефонах присутствует датчик магнитного поля, способный измерять все три компоненты вектора магнитной индукции. В данной работе описывается оболочка, созданная для более удобной работы с такими измерениями, а также опыт её использования.

В ОС Android уже имеются удобные интерфейсы для доступа к показаниям датчика магнитного поля. Однако для практического применения требуется привязать измеренные данные к местности, на которой они собраны. Для этого на главный экран приложения размещена карта, а в программе реализованы три метода привязки:

- по GPS;
- по акселерометру;
- по прямой линии.

Основным методом является GPS-привязка, при которой через равные промежутки времени происходит сохранение текущего положения прибора вместе со значением измеренного магнитного поля. Остальные способы используются при отсутствии GPS-сигнала или невозможности Android-устройства его принимать.

Привязка по акселерометру использует измерения датчика ускорения телефона и определяет приблизительное положение устройства, рассчитывая траекторию движения. Метод требует явного указания начальной позиции на карте, дальнейшее положение рассчитывается автоматически.

В отличие от прочих методов, привязка по прямой линии выполняется уже после проведения измерений. На карте задаются начальная и конечная точки пройденного профиля, после чего выполняется линейная интерполяция измеренных данных, привязывающая их к отрезку прямой, соединяющей точки. В этом случае в процессе измерений требуется перемещать устройство как можно более равномерно. Все измеренные данные могут быть экспортированы в текстовый CSV формат.

Из возможностей предварительной обработки данных в программе реализована интерполяция измеренных значений на двумерный планшет. В качестве метода интерполяции используется метод обратных взвешенных расстояний. Интерполированные данные могут быть экспортированы в формате Golden Software Surfer Grid (.grd).

На рисунке представлен общий вид экрана программы после проведенных измерений (рис. 1). Три измерения проведены по трем различным способам привязки.

Рис. 1. Общий вид окна программы после трех измерений

На рисунке приведен вид окна с результатом интерполяции значений Z-компоненты вектора магнитной индукции (рис. 2). Различный цвет точек соответствует различным наблюденным значениям. В целом видно, что в левой нижней части планшета наблюдается отрицательная аномалия.

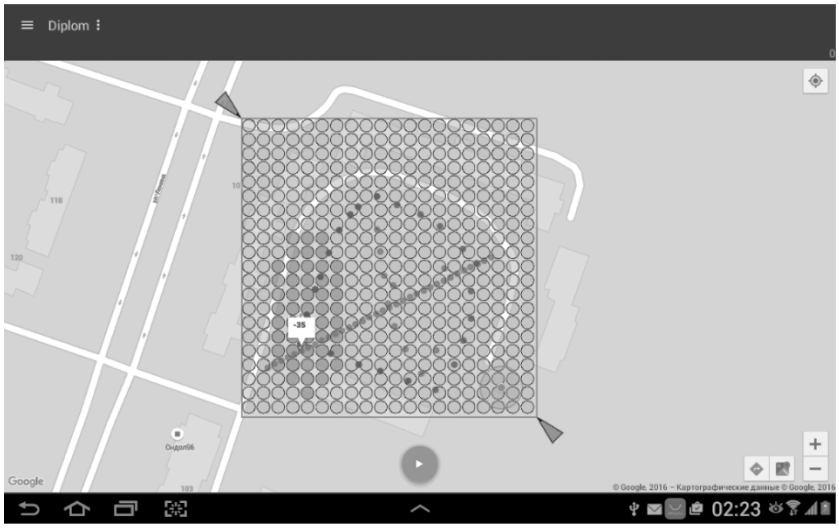


Рис. 2. Вид окна программы после проведенной интерполяции

К сожалению, невозможно определить, вызвана ли аномалия неоднородностями в строении литосферы или же связана с расположенной в этой части планшета автомобильной парковкой. Также требует исследования вопрос влияния неэкранированных металлических частей смартфона на проводимые им измерения. И, наконец, за пределами работы осталась оценка чувствительности и погрешности измерений датчика магнитного поля. Только после проведения таких дополнительных исследований станет возможным сделать вывод о реальной применимости основанного на смартфоне магнитометра для сколь-нибудь информативных геомагнитных исследований.

Программа создана в рамках выполнения выпускной квалификационной работы (бакалавриат) Красовского Д.А., руководитель Цидаев А.Г. Скомпилированные образы и исходные тексты на языке Java доступны по адресу https://github.com/d-a-kras/Diplom

© ГИ УрО РАН. 2017

MAGNETOMETER SHELL FOR ANDROID OS

Krasovskii Dmitrii[1], Tsidaev Alexander[1,2]
[1]Urals Federal University, Yekaterinburg
[2]Institure of Geophysics, Yekaterinburg

Abstract. Software for communication with embedded magnetometer of Android-based device is presented in the paper.
Key words: magnetometer, OS Android

УДК 550. 837.31

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ

Кропотина Ксения Константиновна, Мехоношин Роман Олегович
ПГНИУ, г. Пермь
ksu240594@mail.ru, mekhrom@gmail.com

Аннотация. Кунгурская ледяная пещера является одной из крупнейших карстовых пещер в Европейской части России и седьмой в мире гипсовой пещерой по протяженности. Карстовые процессы, протекающие в пещере и на ее поверхности, приводят к появлению новых карстовых пустот и обвалу горных пород. Методы электроразведки часто применяются для обнаружения карстовых полостей. В данной статье представлены методики вертикального электрического зондирования, модификации срединного градиента с использованием тензорной съемки и методы обработки данных, полученных на поверхности, перекрывающей Кунгурскую ледяную пещеру, с целью выявления особенностей проявления карста в перекрывающих ее отложениях.
Ключевые слова: Кунгурская ледяная пещера, инженерная геофизика, вертикальное электрическое зондирование, тензорная съемка, срединный градиент, ортогональная установка

Карстующиеся породы широко развиты на территории Пермского края, исключением не стала и территория г. Кунгура, на которой обширно развит сульфатный карст. Здесь, на правом берегу реки Сылвы, двенадцать тысяч лет назад образовалась Кунгурская ледяная пещера в результате постепенного вымывания водой гипсовой толщи и образования при этом огромных полостей и пустот.

Надпещерный участок Ледяной горы является, как и сама пещера, памятником природы и экскурсионным объектом. В рельефе этой горы ярко выражено разрушительное действие подземных вод на легкорастворимые гипсы и ангидриты. Поверхность Ледяной горы усеяна карстовыми воронками конусообразной и блюдцеобразной формы. Величина их в плане доходит до 50-100 м, глубина – до 15 м [2]. На сегодняшний день деятельность карстовых процессов приводит к появлению трещин и обвалов, что может сыграть роковую роль при строительстве и планировании инженерных сооружений. Изучение и обнаружение внутригорных пустот, вызванных карстовыми процессами, требует повышенной детальности съемки для решения многих инженерных геофизических задач. Для этого часто применяется электроразведка.

Исследование подземных карстовых полостей посредством электроразведки затруднено из-за различного проявления полостей в зависимости от характера и степени их заполнения, что обуславливает неоднозначность интерпретации аномалий физических полей. В простом случае карстовые полости фиксируются однозначно аномальными значениями кажущегося сопротивления. Несовпадение же обычно обусловлено линейностью ориентировки сети наблюдений и является одним из доказательств необходимости выполнения исследований по методу квадрата со стороной, близкой к глубине залегания карстующихся пород [5].

Для решения данного вопроса на территории Ледяной горы была проведена съемка двумя методами электроразведки (рис. 1), направленными на обнаружение карстующихся пород. Такими методами послужили вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и модификация метода срединного градиента. Сочетание данных методов позволяет получить информацию о распространении исследуемых карстовых объектов, как в плане, так и по вертикали.

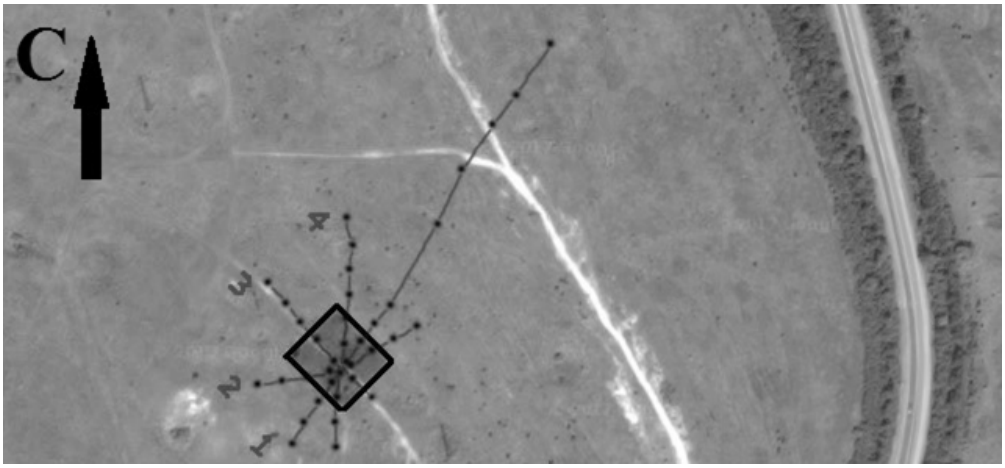


Рис. 1. Схема профилей ВЭЗ и площадь проведения метода срединного градиента

Для определения участка, предназначенного для исследований модификации метода срединного градиента, были выполнены полевые наблюдения методом ВЭЗ, построены карты и разрезы (рис. 2) кажущегося сопротивления $p_к$. Данное вертикальное электрическое зондирование проводилось четырехэлектродной установкой с использованием аппаратуры АМС-1. В результате было отработано 4 профиля с разносами 7, 10, 14, 19, 25, 36, 50, 70, 100, 145, 200 м и током равным 10 мА.

Обработка и интерпретация результатов электрического зондирования осуществляется с помощью автоматизированной системы «ЗОНД», которая является естественным продолжением развития классического метода интерпретации электрических зондирований [2].

На карте кажущихся сопротивлений (рис. 2а), в районе пересечения всех четырех профилей прослеживается аномалия с сопротивление в 160 Ом·м. На разрезах кажущихся сопротивлений (рис. 2б, в) в области пересечения профилей также прослеживается зона в районе пикетов 309-306 (профиль 3) и 118-114 (профиль 1), уходящая на глубину с сопротивлением пород 130-160 Ом·м.

На основе анализа карт и разрезов кажущихся сопротивлений были выбраны параметры установки для метода срединного градиента с использованием тензорной съемки, в целях повышения дельности изучения разреза в районе выделенных аномальных зон.

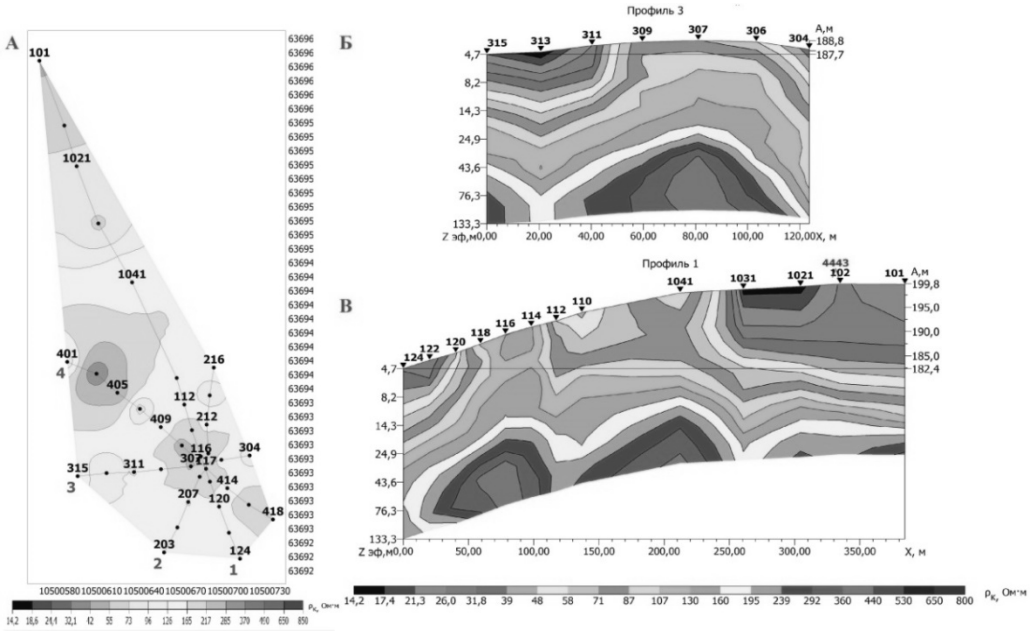


Рис. 2. Результаты полевых исследований: а) карта кажущихся сопротивлений АВ/2= 50 м, б) разрез $p_к$ профиль 3, в) разрез $p_к$ профиль 1

Съемка проводилась в два этапа с помощью 4-электродной установки. На первом этапе линия А1В1 была ориентирована в направлении юго-восток – северо-запад и совпадала с расположением профиля 3 метода ВЭЗ, а наблюдения проводились по системе профилей, субпараллельных линии А1В1. Размер линии АВ составлял 100 м.

Площадь исследуемого участка составляла 30х30 м, и была расположена в центральной части питающей линии. В пределах исследуемого участка было отработанно семь профилей. С шагом между точками наблюдения равным 5 м. При расстоянии между профилями также равным 5 м.

На втором этапе полевой съемки была использована линия А2В2, перпендикулярно расположенная линии А1В1, проходящая через центр питающей линии. Наблюдения выполнены в тех же самых точках, что и для линии А1В1, но по системе профилей, расположенных перпендикулярно линии А1В1.

В результате выполнения расчетов были получены карты кажущегося электрического сопротивления для двух вариантов расположения питающей линии, а также карты различных инвариантов кажущихся сопротивлений, коэффициента анизотропии.

Сопоставление карт кажущегося сопротивления, полученных при двух разных положениях АВ, а также карт всех полученных инвариантов кажущегося сопротивления, показывает существенное различие пространственного изменения электрических свойств среды, что свидетельствует о ее неоднородности и наличии локальных образований, проявляющих некоторые особенности в электрических полях. Такими образованиями могут служить как локальные тела (например, карстовые пустоты), так и анизотропные свойства среды [1].

На площади проведения работ методом срединного градиента было расположено три карстовых воронки, которые проявились на картах кажущегося сопротивления (рис. 3а, б) высокоомными аномалиями (от 250 до 700 Ом·м). Скорее всего, такую связь можно объяснить тем, что карстовые воронки зачастую имеют поноры, через которые поверхностные воды проникают в толщу сульфатных пород, образуя при этом множество трещин или так называемых каналов, которые связывают карстовые воронки на горе с пещерой.

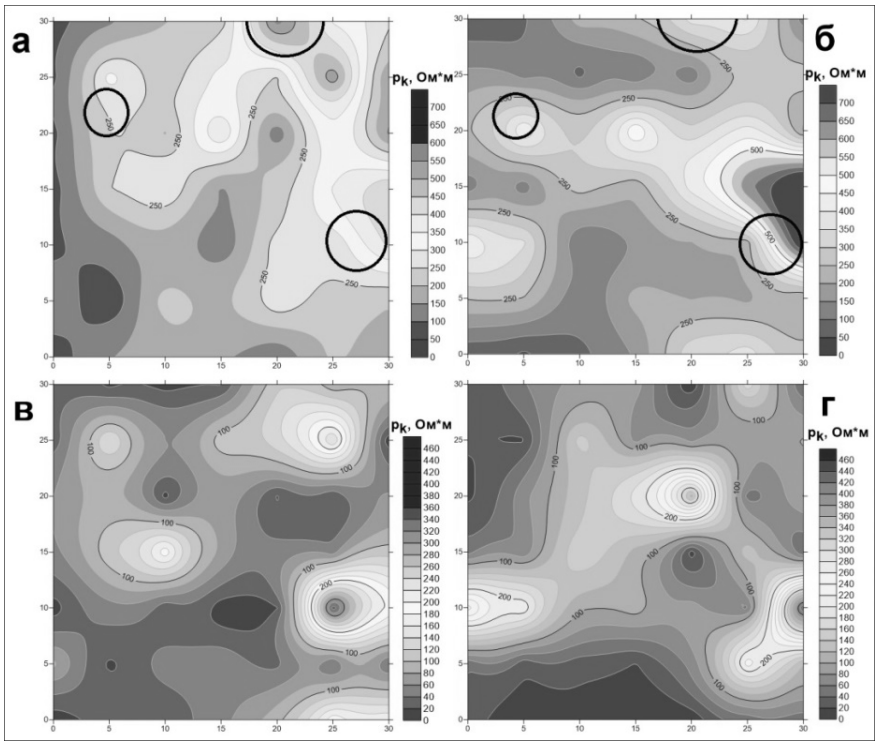


Рис. 3. Результаты съемок: а) карта $p_к^{A1B1(II)}$, б) карта $p_к^{A2B2(II)}$, в) карта$p_к^{A1B1(\perp)}$, г) карта $p_к^{A2B2(\perp)}$

Что касается карт инвариантов (рис. 4а, б, в), которые хорошо зарекомендовали себя в предыдущих исследованиях [1], то тут можно сказать, что все они только подтверждают мысль о том, что проявление неоднородностей на картах связано с системой трещин, которые соединяют поверхность горы с пещерой.

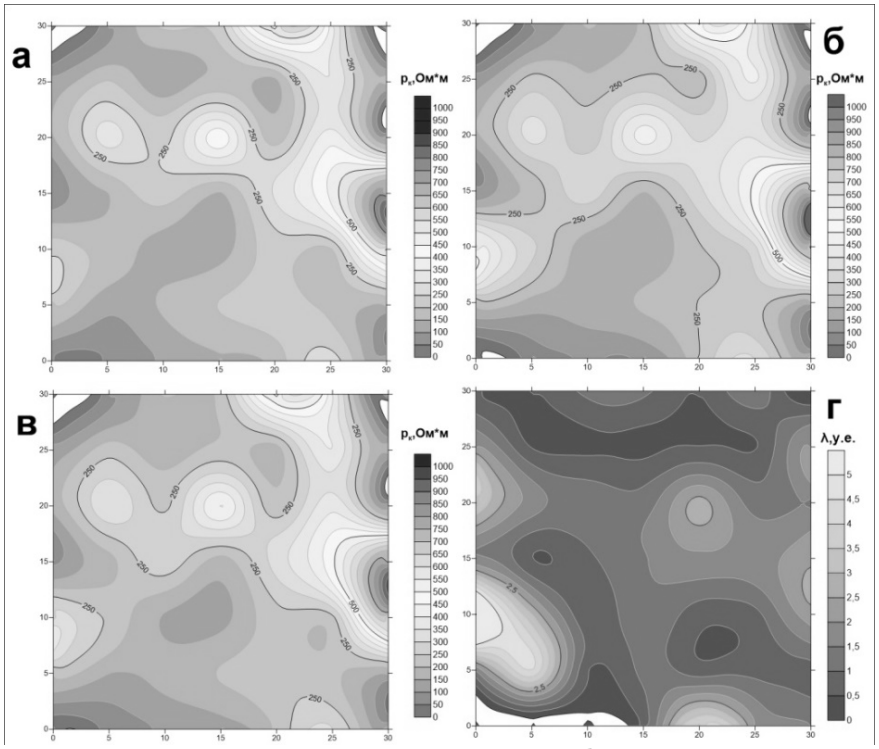


Рис. 4. Результаты съемок в виде карт: а) $\rho_к^{det}$, б) $\rho_к^{ssq}$, в) $\rho_к^{trace}$, г) $\lambda_к$

Анализ карты коэффициента анизотропии показывает наличие зоны повышенных значений коэффициента (до 5 у.е.), совпадающих с высокомными аномалиями на картах кажущихся сопротивлений.

Проведение полевых работ методом ВЭЗ носило региональных характер, чтобы в дальнейшем провести более детальную съемку методом срединного градиента, для выявления латеральной изменчивости горных пород и обнаружения подземных пустот.

Как можно заметить, метод ВЭЗ и модификация срединного градиента хорошо дополняют друг друга и несут в себе большой объем информации. Анализ соотношения сопротивления показал, что аномалии, отмеченные на картах высокими значениями сопротивления, соответствуют распространению трещиноватости пород, связанных с процессами их растворения поверхностными водами, поступающими в сульфатные породы. Все эти процессы взаимосвязаны между собой и могут приводить к образованию карстовых пустот и обвалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глотов А.А. Исследование возможности тензорной съемки с использованием ортогональной установки срединного градиента / А.А. Глотов, К.К. Кропотина // Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. науч. Материалов / под ред. Маловичко А.А., Дягилева Р.А. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. – С. 86-91.
2. Дорофеев Е.П. Кунгурская ледяная пещера / Е.П. Дорофеев, В.С. Лукин / Памятники природы Пермской области / Составитель Л. Баньковский. – Пермь: Кн. изд-во, 1983. – С. 41-52.
3. Колесников В.П. Интерпретация электрических зондирований с использованием системы программ ЗОНД / В.П. Колесников. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2016. 212 с.
4. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований / В.П. Колесников. – М.: Научный мир, 2007. – 248 с.
5. Малахов В.Е. Инженерно-геофизическое исследование пещер Пермского и Башкирского Приуралья / В.Е. Малахов, В.П. Костарев // Пещеры. Типы и методы исследования: межвуз. Сб. науч. тр. / под ред. Печеркина И.А. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1984. – Вып. 19. – С. 93-96.

COMPLEX ELECTRICAL EXPLORATION IN THE AREA OF KUNGUR ICE CAVE

Ksenia Kropotina, Roman Mekhonoshin
Perm State University, Perm
ksu240594@mail.ru, mekhrom@gmail.com

Abstract. Kungur ice cave is one of the largest karst caves in the European part of Russia and the world's seventh gypsum cave in extent. Karst processes occurring within the cave and on its surface give rise to new karst cavities and rock falls. Geoelectric methods are often used to detect karst cavities. This article presents techniques of vertical electrical sounding, modification of Mean Gradient using tensor survey and techniques of data processing from the surface over Kungur ice cave in view to detect karst occurrence features in superposed formation.

Key words: Kungur ice cave, engineering geophysics, vertical electric sounding, tensor survey, Mean Gradient, orthogonal device

УДК 553.98

УЧЕТ ТРЕЩИНОВАТОСТИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Кулакова Наталья Валерьевна
ПГНИУ, г. Пермь
kulakva@gmail.ru

Аннотация. Карбонатные породы содержат более половины мировых запасов нефти, при этом только часть запасов сосредоточена в коллекторах порового типа. Значительное количество углеводородов находится в низкопористых карбонатных породах, которые могут быть коллекторами промышленного значения. В связи с этим, подсчет запасов трещинной нефти является актуальной задачей.
Ключевые слова: трещиноватость, проницаемость, пористость, коэффициент охвата трещиноватостью, пластовое давление

При подсчете запасов нефти объемным методом трещиноватость коллекторов не учитывается, хотя в настоящее время общепризнано, что большинство продуктивных пластов в той или иной степени нарушено системой многочисленных трещин.

В качестве объекта исследований выбрано Озерное месторождение нефти (рис. 1), расположенное на севере Пермского края, на юго-западной окраине Красновишерского района, в пределах Соликамской депрессии. В тектоническом отношении Озерная структура представляет собой купол тектоно-седиментационного происхождения и характеризуется несоответствием структурных планов по маркирующим горизонтам терригенного девона, каменноугольных отложений и артинского яруса, вследствие развития последевонского и раннепермского органогенных сооружений. По классификации запасов месторождение относится к мелким и характеризуется многопластовой залежью сложного строения, включающей четыре основных объекта разработки: карбонатные сакмарские (пласт См); башкирско-серпуховские (пласты Бш1, Бш2, Бш3 и Срп); окские (пласт Ок) и турне-фамено-франские отложения (пласты Т1, Фм1, Фм2, Фм3 и Фр). В данной работе был рассмотрен пласт Бш1 [1].

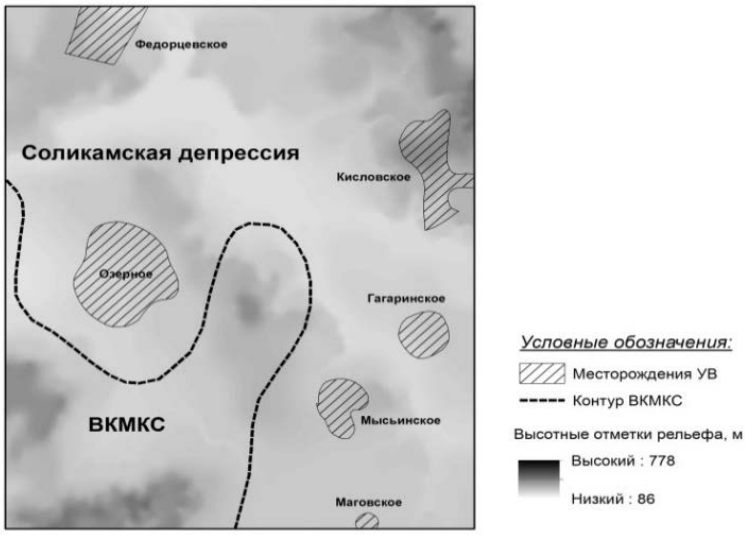
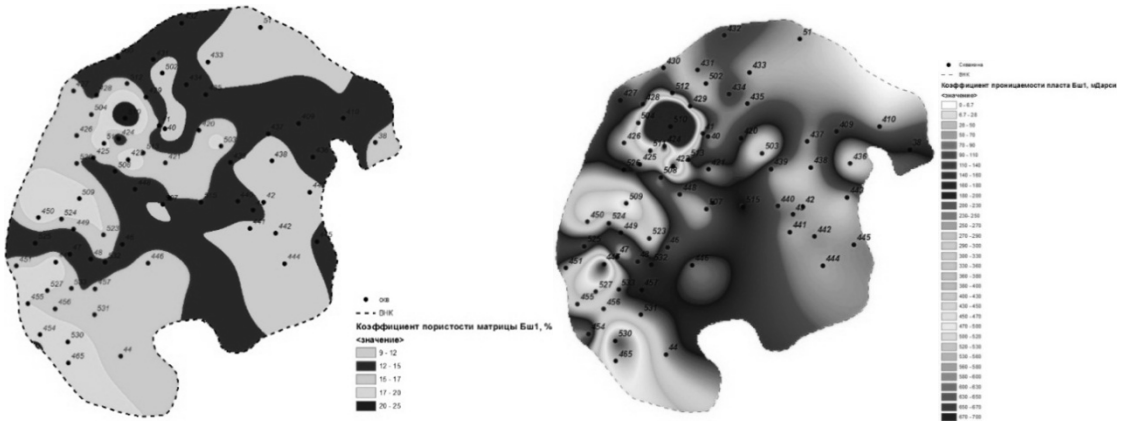


Рис. 1. Выкопировка из тектонической схемы Пермского Прикамья

Породы пласта Бш1 характеризуются достаточно высокой пористостью (рис. 2а), которая в некоторых районах достигает 25%. Это обеспечивает относительно высокую проницаемость коллекторов (рис. 2б).

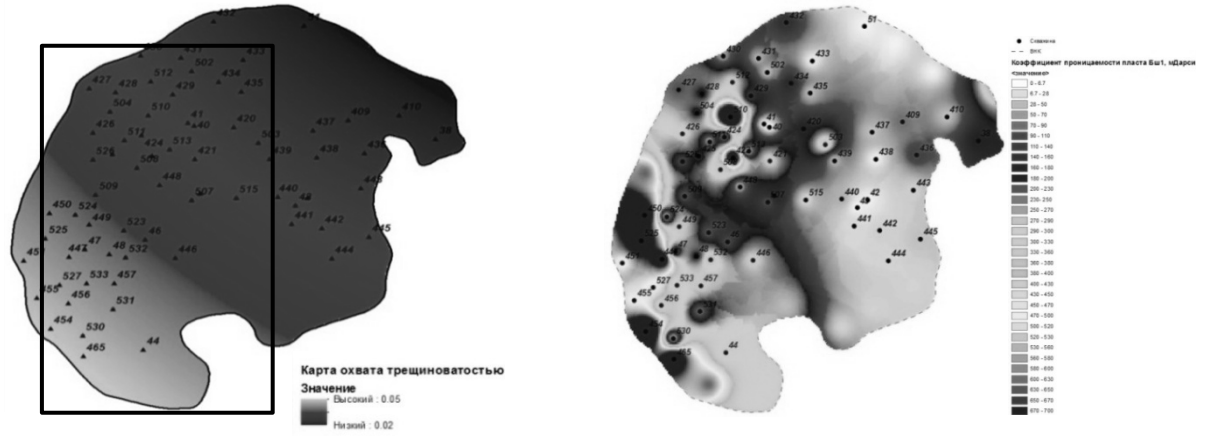


а **б**

Рис. 2. Карта пористости (а) и проницаемости (б) матрицы (поровая проницаемость)

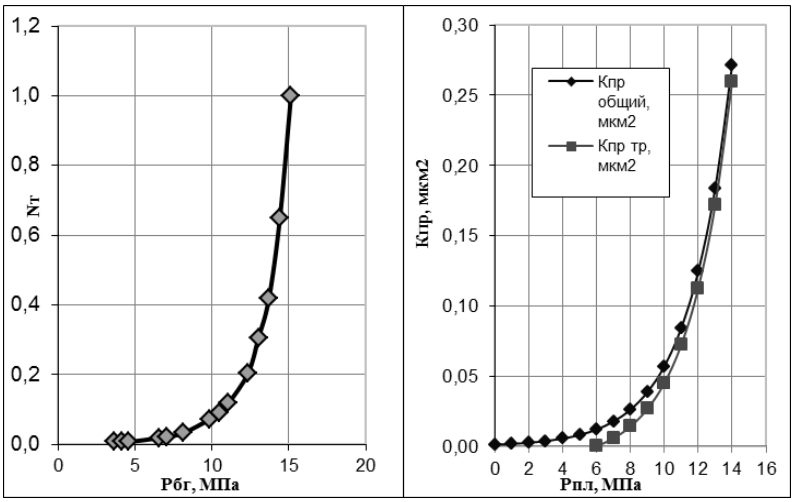
Кроме того, по данным АКШ (акустического широкополосного каротажа) в пласте отмечается наличие систем закрытых трещин разной направленности. Через распределение коэффициента Пуассона были вычислены коэффициенты охвата трещиноватостью и построена карта распределения трещиноватых пород на территории месторождения (рис. 3а). Отчетливо видно, что трещиноватость коллекторов пласта Бш1 закономерно увеличивается с северо-востока на юго-запад территории.

С целью оценки влияния трещиноватости на суммарную проницаемость пород, по данным гидродинамического каротажа, проведенного в 69 скважинах, были построены графики зависимости охвата трещиноватостью от бокового горного давления по эффективной части разреза (рис. 4а) и зависимости коэффициента проницаемости от пластового давления (рис. 4б). Анализ графиков показал, что при давлении большем, чем 6 МПа, трещины открыты и при поддержании в ходе разработки месторождения пластового давления в скважине, превышающего 6 Мпа, может осуществляться транспортировка нефти. Это приведет к увеличению суммарной проницаемости коллекторов за счет трещинной проницаемости (рис. 3б).



а) **б)**

Рис.3. Карты трещиноватости: а) распределения трещиноватых пород на территории месторождения; б) распределение трещинной проницаемости



а **б**

Рис. 4. Графики зависимости охвата трещиноватостью от бокового горного давления по эффективной части разреза (а) и зависимости коэффициента проницаемости от пластового давления (б)

В заключение по стандартной технологии [1, 2] был проведен подсчет запасов нефти пласта Бш1 с учетом и без учета трещинной проницаемости. Установлено, что основные запасы нефти содержит пористая матрица (91%), а трещинная система отвечает за транспортировку углеводородов (трещинная проницаемость составляет 78 % от общей проницаемости коллекторов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулакова Н.В. Геомоделирование при подсчете запасов углеводородов / Н.В. Кулакова // XVII Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2016. – С. 101-103.
2. Петерсилье В.И. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко // Методические рекомендации. – Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 259 с.

CARBONATE RESERVOIRS FRACTURE CORRECTION IN HYDROCARBONS RESERVES ESTIMATE

Nataliya V. Kulakova
Perm State University, Perm
kulakva@gmail.com

Abstract. Carbonate rocks contain more than half of world's oil reserves, while barely a part of reserves is concentrated in porous type reservoirs. Significant amounts of hydrocarbons are located in low-porosity carbonate rocks, which may be reservoirs of commercial value. In this regard, calculation of oil fissure reserves is priority task.
Key words: fracture, permeability, porosity, fracture volume efficiency, reservoir pressure.

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.837

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА ПРИ РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Ласкина Татьяна Андреевна
ПГНИУ, г. Пермь
ognewatania@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена оценка информативности комплекса электроразведочных методов при решении экологических задач, связанных с засолонением пресных подземных вод, на примере влияния разработки нефтяных и соляных месторождений, с учетом результатов численного моделирования.
Ключевые слова: электроразведка, экологические задачи, засолонение, источники загрязнения, информативность

В настоящее время, учитывая степень техногенного влияния на окружающую среду, решение экологических задач, связанных с контролем и выявлением источников различных видов загрязнения, является актуальной проблемой. В мировой практике для этого широко используются геофизические методы [3]. При исследовании проблемы засолонения пресных подземных вод электроразведочные исследования являются одними из наиболее эффективных. Данная работа посвящена анализу информативности методов электроразведки при изучении зон засолонения подземных вод и выявлении источников хлоридного загрязнения в различных геологических условиях.

Для решения поставленной задачи был сформирован комплекс методов, включающий вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), в модификации групповых зондирований (ГЗ) [2] для повышения оперативности полевой съемки, и метод естественного поля (ЕП). Метод ВЭЗ позволяет изучить характер изменения электрического сопротивления пород и гидрогеологические особенности разреза, по результатам количественной интерпретации, выполненной с использованием априорной геологической информации, могут быть выделены и прослежены водоносные горизонты, а также вариации минерализации подземных вод в их пределах. Петрофизическое обоснование опирается на известный факт [5], что сопротивление осадочных горных пород в большей степени определяется их пористостью и флюидами (вода, нефть, газ), заполняющими поры. В случае водонасыщенных пород существенную роль играет минерализация вод, электрическое сопротивление изменяется обратно пропорционально изменению минерализации. Таким образом, объясняется высокая чувствительность методов электроразведки к степени загрязнения вод. Зоны хлоридного загрязнения, вызывающего резкое повышение минерализации вод, выделяются аномалиями пониженного сопротивления пород водоносных горизонтов, а области углеводородного загрязнения выделяются аномалиями повышенного электрического сопротивления, так как нефть характеризуется свойствами диэлектрика. При этом метод ЕП позволяет исследовать особенности движения подземных вод с выделением зон инфильтрации и разгрузки.

Полевые наблюдения методом ВЭЗ выполнены с использованием аппаратурного комплекса АМС-1 [1], в качестве инструментальных средств интерпретации электрических зондирований использована система программ «ЗОНД» [3].

В целом, проблема засолонения пресных подземных вод характерна для территорий промышленных предприятий, а также различных месторождений полезных ископаемых при неблагоприятных факторах отработки, таких как интенсивное влияние нагнетательных скважин в пределах нефтяных месторождений, затопление калийных

рудников и последствия этого и др. При этом основными источниками хлоридного загрязнения являются стоки промышленных предприятий, шламохранилища и хвостохранилища при нарушении их изоляции, нагнетательные скважины, утечки минерализованных вод и др.

Анализ информативности комплекса электроразведочных методов в условиях нефтяных месторождений выполнен на основе одного из месторождений республики Татарстан (Бавлинское). Основной задачей являлось изучение электрических свойств приповерхностной части геологического разреза до глубин порядка 130–140 м с целью выявления источников загрязнения пресных подземных вод, питающих родники, используемые населением. Дополнительным фактором, усложняющим интерпретацию данных, является значительный перепад высотных отметок рельефа на участке исследования (рис. 1). Это существенно снижает информативность качественной интерпретации результатов и требует выполнения обоснованной количественной интерпретации с привлечением априорной информации.

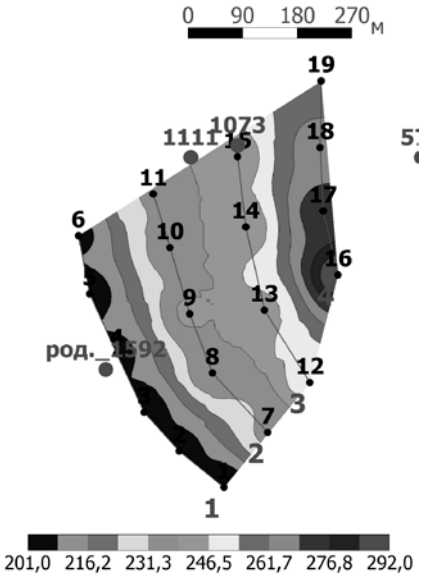


Рис. 1. Карта высотных отметок рельефа в пределах участка исследования

Необходимо отметить, что при количественной интерпретации наличие существенного перепада высотных отметок рельефа в пределах исследуемого участка обуславливает различие в количестве геоэлектрических горизонтов и в геологическом содержании геоэлектрических слоев соответствующих номеров для каждого профиля наблюдений.

Геоэлектрические разрезы, построенные по результатам количественной интерпретации (рис. 2), отображают шести- и семислойный разрез, характеризующий строение и физическое состояние пород, залегающих в разных интервалах глубин.

Водоносный горизонт, разгрузка которого наблюдается в исследуемом роднике, отождествляется с отложениями песчаника второго геоэлектрического горизонта в пределах первого профиля наблюдений. В связи с перепадом высот рельефа и квазигоризонтальным залеганием слоев в пределах второго профиля он выражен третьим геоэлектрическим горизонтом, на третьем профиле – четвертым геоэлектрическим слоем, и на четвертом профиле – пятым (рис. 2). В целом, данный водоносный горизонт выделяется в интервале абсолютных высотных отметок от 190 м до 210-230 м. Сопротивление в пределах водоносного горизонта варьируется от 60 до 295 Ом·м, что может объясняться изменением пористости, степени водонасыщенности пород, но основной причиной изменения сопротивления пород водоносного горизонта в данных условиях можно считать изменение минерализации подземных вод.

Карта значений электрического сопротивления для нижней части разреза (z=190-210 м), соответствующей положению водоносного горизонта, отмечает заметное снижение электрического сопротивления (до 60-65 Ом·м) в районе расположения скважины № 1073, указывая на вероятность повышения минерализации и, следовательно, загрязнения вод, связанного с влиянием этой скважины. Вторая область понижения сопротивлений (80-85 Ом·м), наблюдаемая в пределах юго-восточной окраины участка с характерными для первой области особенностями, может быть связана с влиянием близлежащих в этом направлении скважин, расположенных за пределами участка. Влияние выделенных аномалий прослеживается в юго-западном направлении (в виде по-

нижения сопротивления в районе 3, 5, 8 и 10 пикетов) и наблюдается вблизи зоны разгрузки этого водоносного горизонта.

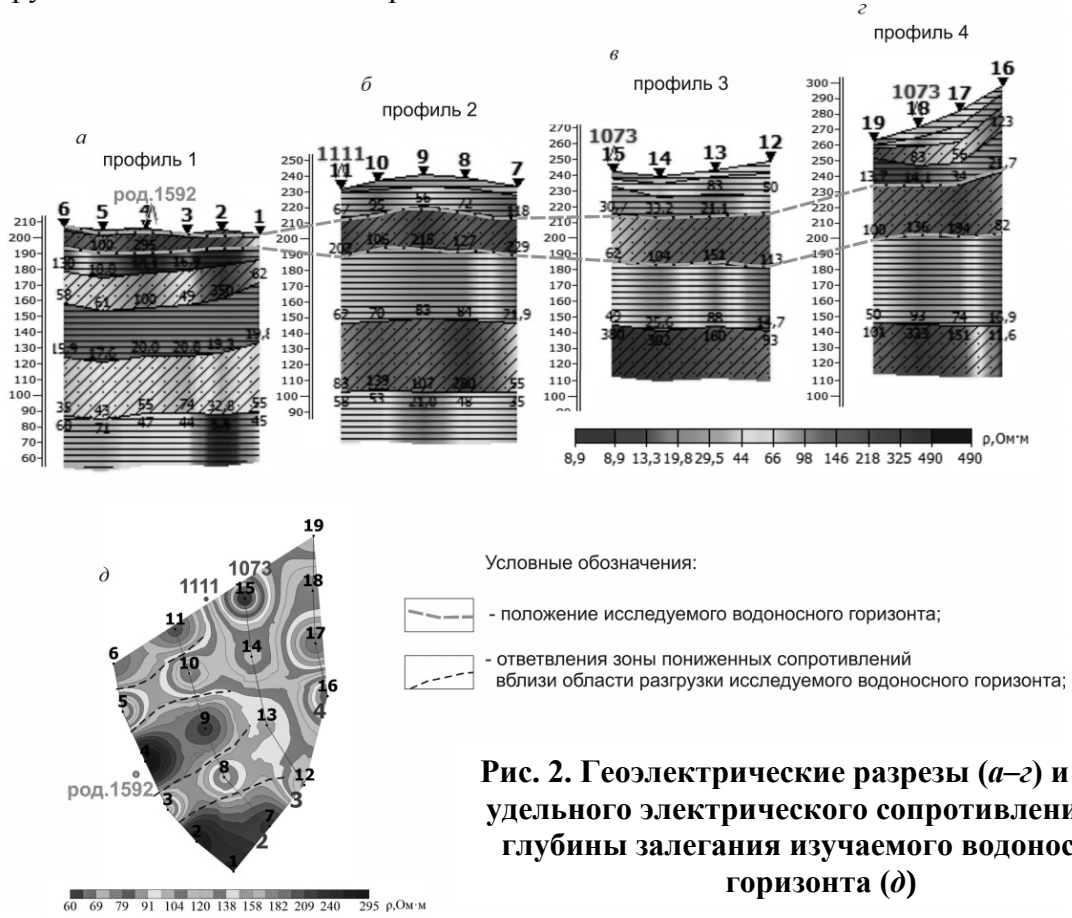


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы (*а–г*) и карта удельного электрического сопротивления для глубины залегания изучаемого водоносного горизонта (*д*)

Также в пределах исследуемого разреза выделяется нижележащий (100-140 м) водоносный горизонт, а также водонасыщенные слои в вышележащей толще разреза.

По результатам анализа данных метода ЕП в пределах всего профиля исследований наблюдаются положительные значения потенциала естественного поля. В восточной части профиля выделяется интенсивная положительная аномалия (до 900 мВ), что может свидетельствовать о наличии зоны разгрузки подземных вод, либо о присутствии техногенных токопроводящих объектов в водонасыщенной среде. В данном случае, учитывая характер выделенной аномалии и ее прослеживаемость в пределах профиля наблюдений, резко повышенные положительные значения потенциала естественного поля (до 900 мВ) возможно указывают на вероятную вертикальную миграцию вод в направлении приповерхностной части разреза под действием пластового давления, повышенного в результате влияния нагнетательных скважин.

Комплексный анализ результатов ВЭЗ и ЕП показал пространственную корреляцию выделенных геоэлектрических особенностей, что свидетельствует о наиболее вероятных источниках загрязнения в качестве нагнетательных скважин, расположенных в пределах исследуемого участка и к северо-востоку от него.

Выявленные области расположения источников вод повышенной минерализации, оказывающих влияние на состояние водоносного горизонта, требуют проведения защитных мероприятий, включающих контроль и повышение уровня технического состояния ряда скважин, расположенных в пределах выделенных аномальных зон с проведением дальнейшего контроля.

Другим актуальным направлением является изучение и контроль возможного засолонения подземных вод в результате влияния разработки соляных месторождений,

включая ситуации затопления калийных рудников и последующих явлений, связанных с карстовыми процессами, деформацией вышележащих толщ пород и провалообразованием. Информативность электроразведочных методов при оценке влияния данных явлений на состояние пресных подземных вод была проанализирована на основе исследований на территории Верхнекамского месторождения калийных солей. В геологическом разрезе надсоляной толщи в пределах этого месторождения выделяется до четырех водоносных горизонтов, характеризующихся различной степенью минерализации вод. В результате процессов карстообразования формируются дополнительные зоны водообмена и возможного влияния рассолонасыщенных полостей системы шахтных выработок в развитии процессов карстообразования. По результатам анализа данных численного моделирования двукратное повышение минерализации вод основного горизонта, используемого для водоснабжения, находит существенное отражение в данных полевой съемки ВЭЗ, а именно, изменения кривой зондирования в пределах интервала эффективного влияния слоя достигают 45-50 %. В целом, в данных геологических условиях по результатам качественной интерпретации данных ВЭЗ может быть уверенно выделено изменение минерализации исследуемого горизонта подземных вод на 25 и более процентов. Мониторинг влияния источников загрязнения, выполненный с учетом результатов численного моделирования, позволяет получить более достоверные данные об изменении минерализации подземных вод.

В результате данного исследования выполнен анализ информативности электроразведочных методов при решении экологических задач, связанных с засолонением пресных подземных вод в результате различных видов техногенного воздействия. Рациональный комплекс электроразведочных методов, сформированный с учетом особенностей исследуемого объекта, результатов численного моделирования и использованием современного аппаратурно-программного обеспечения, является одним из наиболее эффективных геофизических изысканий в различных геологических условиях, включая нефтяные и соляные месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппаратурно-программный комплекс для геоэлектроразведки АМС-1: пат. 97542 Рос. Федерация: МПК7: G01V3/02 / авторы и патентообладатели Алатов С.А., Батяев И.М., Зеленин В.П., Карпов С.Б., Колесников В.П., Мельников А.К., Татаркин А.В.; 10.09.2010.
2. Колесников В.П. Многоэлектродные электрические зондирования с использованием инверсионной установки / В.П. Колесников, Т.А. Ласкина, Д.А. Артемьев // Инженерные изыскания. 2016, № 2. С. 54-59.
3. Программа обработки и интерпретации результатов вертикального электрического зондирования ЗОНД: свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2004611865 Рос. Федерация / авторы Колесников В.П., Кутин В.А., Мокроносов С.В., правообладатель Колесников В.П.; 11.01.2005.
4. Пустозеров М.Г. Комплекс геофизических методов при изучении углеводородного загрязнения геологической среды / М.Г. Пустозеров // Геоэкология. 2001, № 4. С. 375-384.
5. Рыжов А.Е. Физические свойства горных пород / А.Е. Рыжов, В.Н. Кобранова. М.: Гостоптехиздат, 1962. 490 с.

© ГИ УрО РАН. 2017

ELECTRIC EXPLORATION IN ENVIRONMENTAL TARGET SOLVING

Tatiana A. Laskina
Perm State University, Perm
ognewatania@yandex.ru

Abstract. Informative value of electric exploration complex in environmental target solving, connected to fresh groundwater salinisation, is estimated on exploration example of oil and salt deposit development, subject to numerical modeling results.
Key words: electric exploration, environmental target, salinisation, pollution source, informative value.

УДК 550.8.05

УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВЧР НА ЭТАПЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЛУБИННОЙ МИГРАЦИИ СЕЙСМОГРАММ

Малышев Михаил Викторович
САМГТУ, г. Самара
Malyshev_mv@bk.ru

Аннотация. В статье описывается методика учета длиннопериодных искажений, которые связаны с наличием неоднородностей в верхней части разреза (ВЧР), на этапе выполнения построения глубинно-скоростной модели для миграции сейсмических данных. Практическая часть исследования выполнена на примере участка, находящегося в Западной Сибири. Было выполнено сопоставление результатов миграции с применением специальной методики учета длиннопериодных искажений и без. Также была показана возможность эффективного использования данной методики на сейсмических данных месторождений с наличием характерных неоднородностей в ВЧР.
Ключевые слова: сейсмические данные, глубинная миграция, обработка, длиннопериодные статические поправки

Введение. Одной из основных причин искажения структурного плана горизонтов, построенных по сейсмоданным, является наличие длиннопериодных скоростных аномалий в верхней части разреза. На этапе временной обработки существует достаточно большой аппарат учета влияния неоднородностей ВЧР: замещение слоя, расчет статпоправок по преломленным волнам, томографии и др. [1-4]

Существует множество работ, посвященных вопросу учета длиннопериодных искажений на этапе временной обработки, но практически отсутствуют работы, которые посвящены этой же проблеме на этапе выполнения миграции сейсмических данных до суммирования.

Наличие значительных по величине и пространственной протяженности статических поправок в сейсмоданных негативно сказывается на кинематических характеристиках отражений, и, как следствие, значительно усложняется процесс построения глубинно-скоростной модели. Все это может впоследствии привести к искажению глубинного изображения и структурного плана.

На синтетических данных негативное влияние длиннопериодных искажений прекрасно проиллюстрировано в работе Е.К. Королева и Е.М. Хайретдиновой. [3]

Для решения этой проблемы на реальных сейсмических данных были поставлены следующие задачи:

- оценить наличие или отсутствие длиннопериодных искажений ВЧР на конкретном участке;
- выполнить их учет на этапе построения глубинно-скоростной модели для миграции сейсмических данных;
- проанализировать полученные результаты.

Описание методики, ход выполнения, результаты. Практическая часть работы выполнялась на сейсмических данных участка, который располагается в Западной Сибири.

Большинство участков севера Западной Сибири характеризуются наличием зон многолетнемерзлых пород (ЗММП) переменной мощности, что приводит к искажению скоростей. Это весьма характерная картина для участков, где заболоченным участкам местности с практически нулевыми отметками рельефа соответствуют растепления в ЗММП, характеризующиеся значительным понижением скоростей.

На этапе временной обработки были учтены как коротко- и среднепериодные так и длиннопериодные составляющие статических поправок. Перед этапом выполнения построения глубинно-скоростной модели из сейсмических данных были выведены все статические поправки, кроме короткопериодной составляющей. Для учета выведенных статпоправок был выбран опорный горизонт в ВЧР, который примерно соответствует зоне стабилизации скоростей. Скорость в слое до первого опорного горизонта была рассчитана по следующей формуле:

$$V' = \frac{\Delta T_0^{cm} \cdot V_з}{\Delta T_0^{cm-}},$$

где ΔT_0^{cm} – временной интервал с учетом длиннопериодной статики; ΔT_0^{cm-} – временной интервал без учета длиннопериодной статики; $V_з$ – постоянная скорость замещения.

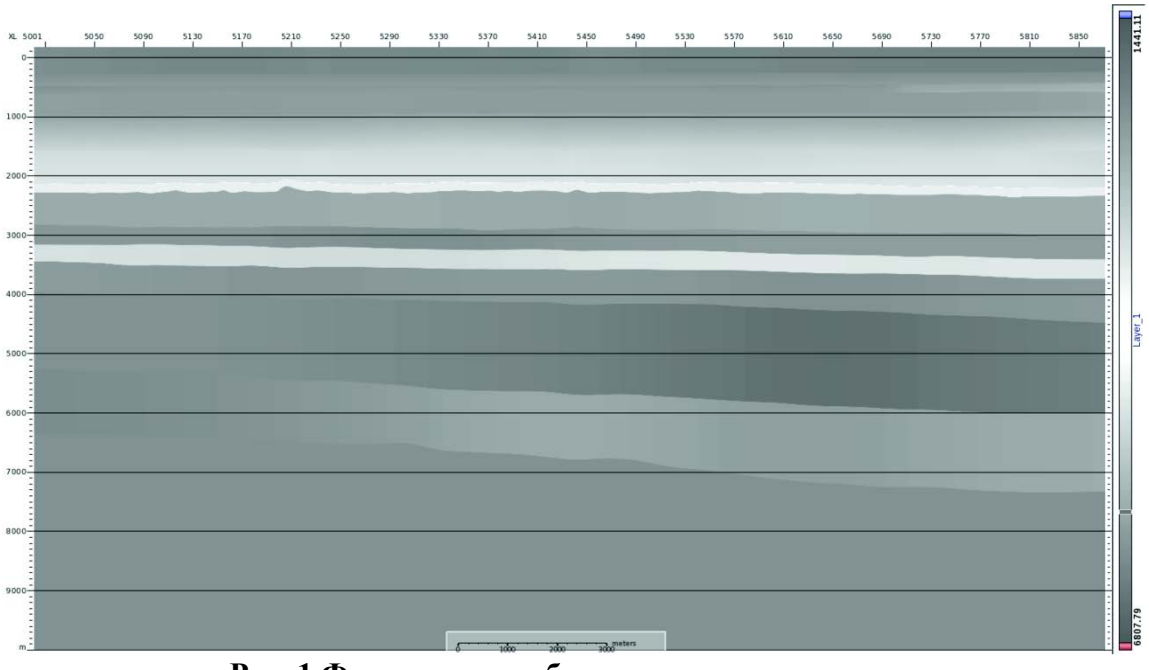


Рис. 1 Финальная глубинно-скоростная модель

После выполнения расчета скорости для первого слоя глубинно-скоростной модели, с помощью погоризонтной томографии были уточнены остаточные кинематические поправки и получена окончательная скорость для первого слоя. Это позволило минимизировать невязки со скважинными данными по верхним опорным горизонтам и нивелировать влияние скоростных аномалий ВЧР. После этого выполнялся послойный погоризонтный анализ скоростей с последующим уточнением по всем нижележащим горизонтам. В результате чего была получена окончательная глубинно-скоростная модель, с которой выполнялась глубинная миграция сейсмограмм (рис.1). На рис.2 представлены карты глубин по верхнему опорному горизонту до и после учета длиннопериодной компоненты статики. Очевидно, что в местах, не подтвержденных данными бурения, есть определенные положительные изменения, так как за счет применения вышеописанных процедур удалось учесть скоростные аномалии ВЧР и убрать их влияние на нижележащие толщи. Так же улучшилась фокусировка и прослеживаемость отражающих горизонтов по всем сложным участкам площади.

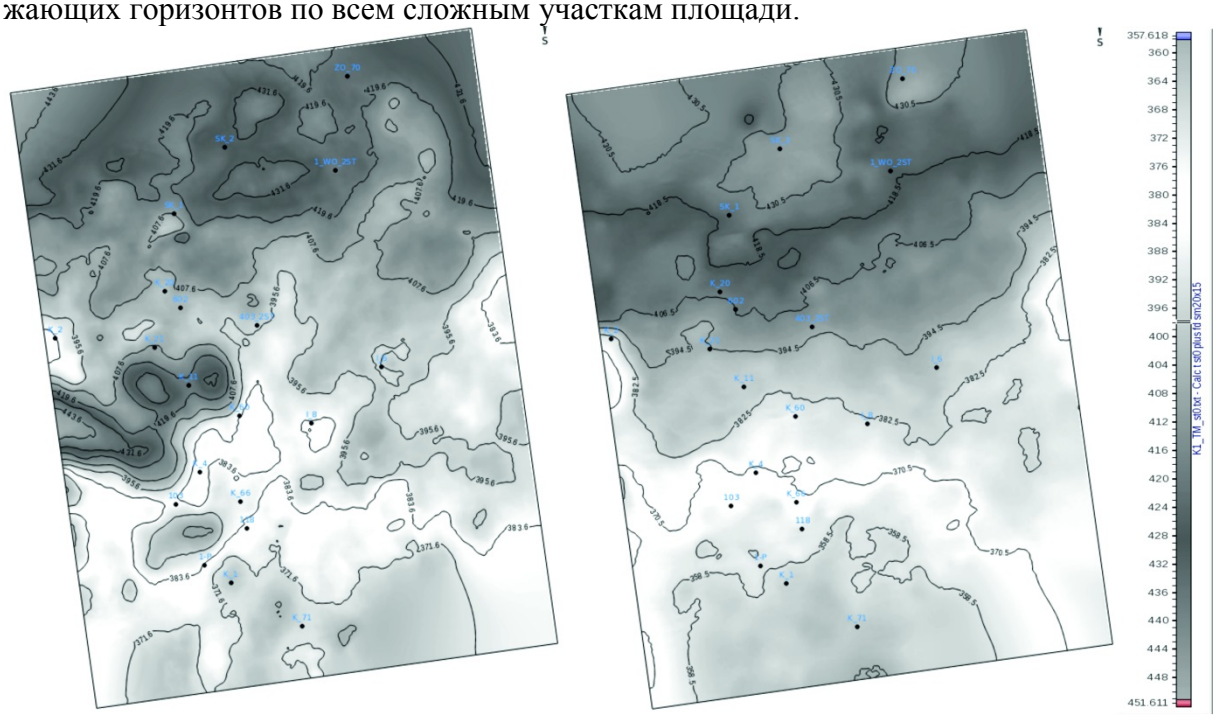


Рис. 2. Карты глубин до (слева) и после (справа) учета длиннопериодной компоненты статики

Необходимо отметить, что окончательная глубинно-скоростная модель подходит только для выполнения глубинной миграции. Для выполнения масштабирования из области глубин во временную область необходимо эту скоростную модель адаптировать. Для этого переменная скорость в верхнем неоднородном слое была заменена на постоянное значение, среднее по всему участку исследований и перестроена глубинно-скоростная модель, с которой и было выполнено масштабирование данных из глубин во времена. Результаты проделанной работы сопоставлялись во временной области и представлены на рис.3. Из анализа сейсмических разрезов видно, что длиннопериодную составляющую статики нам удалось учесть на этапе построения глубинно-скоростной модели лучшим образом, нежели на этапе временной обработки. Таким образом, предлагаемая методика учета длиннопериодной компоненты статики на этапе построения глубинно-скоростной модели позволяет в значительной мере улучшить качество результирующих сейсмических данных и повысить надежность структурных построений без внесения необоснованных, не подтвержденных данными бурения аномалий.

Заключение. По окончании выполнения всех процедур обработки стало очевидно, что в сейсмические данные, подаваемые на глубинную миграцию нельзя вносить длиннопериодные компоненты статических поправок. Они должны быть пересчитаны в скорости для горизонта, являющегося подошвой ВЧР. При надлежащем выполнении вышеуказанного, предлагаемая методика позволяет учесть влияние скоростных аномалий в ЗММП, улучшить прослеживаемость отражающих горизонтов на сейсмических разрезах и, как следствие, увеличить точность структурных построений.

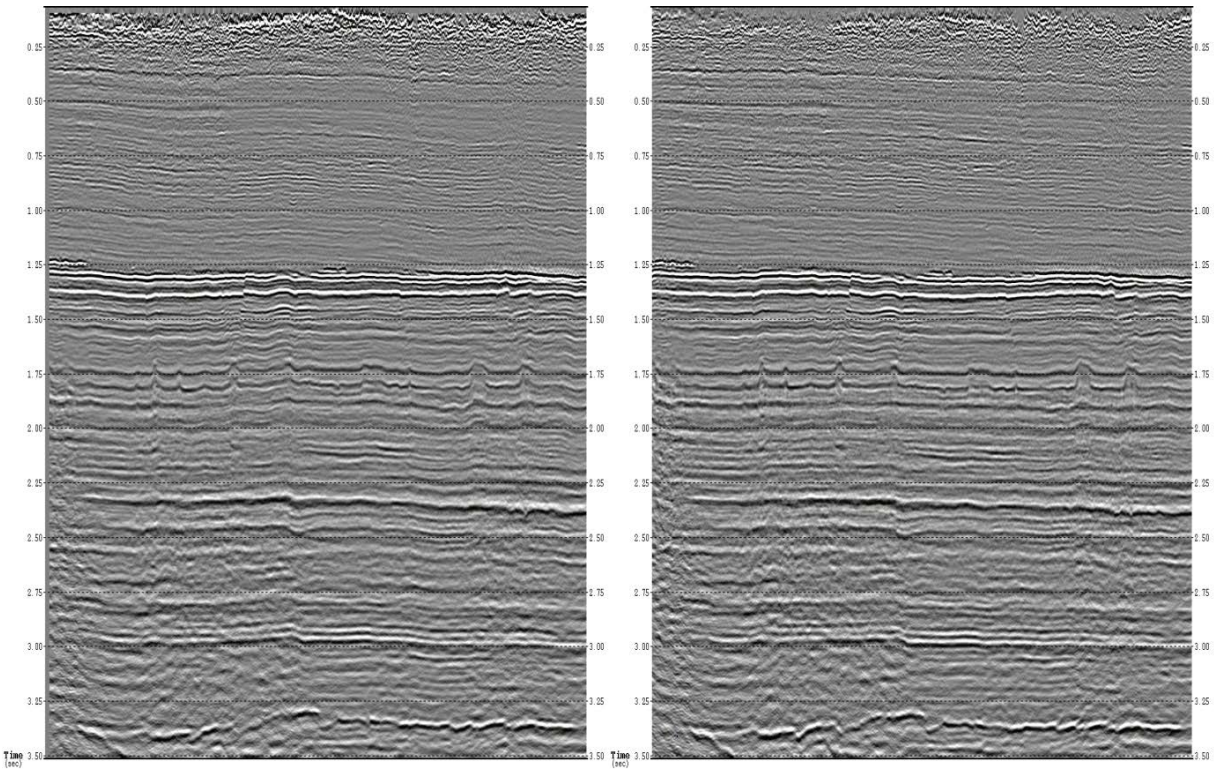


Рис. 3. Сопоставление фрагментов сейсмических кубов 3D вдоль кросслайнов после выполнения престэк-миграции до (слева) и после (справа) учета длиннопериодной компоненты статики

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об учете неоднородностей верхней части разреза по данным сейсморазведки в Широтном Приобье / Завьялов В.А.// Геофизика. 2004. №6. – С.6-11.
2. Интерактивная методика коррекции статических поправок для условий сложного строения верхней части разреза / Козырев В.С., Королев Е.К. // Геофизика. 1994. № 3. - С. 13-19.
3. Интерпретационный подход к учету длиннопериодных искажений сейсмических волновых полей, вызванных зоной многолетнемерзлых пород / Королев А.Е., Хайретдинова Е.М. // Технологии сейсморазведки. 2005. №1. – С.41-46.
4. Interval velocity analysis and reflection tomography for resolving near surface velocity / Taylor R., Canning A. // SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1998. P.1207-1210.

© ГИ УрО РАН. 2017

NEAR-SURFACE HETEROGENEITY CORRECTION ON THE STAGE OF SEISMIC DATA DEPTH MIGRATION

Mikhail V. Malyshev
SSTU, Samara
Malyshev_mv@bk.ru

Abstract. The article describes correction technique of long-period distortions associated with heterogeneities existence in the upper part of section, during execution-time velocity model building for seismic data migration. Practical part is executed case study of a site in Western Siberia. Results of migration comparison are executed with and without use of special methods of long-period distortions correction. Also possibility of this technique effective use for seismic data from deposits with proper near-surface heterogeneity available is shown.
Key words: seismic data, depth migration, processing, long-period statics

УДК 550.311

ПРОГРАММНЫЙ СЕРВИС «SEISMOLOGY ONLINE»

Михайлова Яна Александровна[1], Садыгов Антон Вагифович
Гринин Владислав Николаевич
[1]ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск
mikhailovayana@gmail.com, sadygov@gmail.com, grinin.vlad1@gmail.com

Аннотация. В статье приведено описание программного сервиса «*Seismology online*» на платформе 1С:Предприятие 8.3, позволяющее работать с различными видами сейсмических баз данных, производить расчет и визуализацию значений сейсмической активности и сейсмической сотрясаемости.
Ключевые слова: сейсмология, каталог, землетрясения, сейсмическая активность, сервис, сотрясаемость

Коллектив авторов во главе с Е.А. Рогожиным и А.И. Лутиковым предложили и успешно используют для разных регионов методику уточнения исходной сейсмичности в задаче оценки сейсмической опасности [4-6]. Круг задач, решаемых при проведении работ по уточнению исходной сейсмичности, согласно работе [5], можно разделить на три блока:

– первый блок связан с выделением и картированием по геологическим и геодинамическим данным активных тектонических структур на рассматриваемой территории и оценкой их сейсмического потенциала. Итогом этих работ является составление схемы зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ);

– второй блок – это детальное изучение сейсмичности. Итогом работ по этому блоку являются карта эпицентров сильных и слабых представительных сейсмических событий, распределения сейсмичности по глубине, данные о наклоне графика повторяемости и схема сейсмической активности для всей рассматриваемой территории;

– третий – заключительный блок – включает установление параметров уравнения макросейсмического поля и, на основе параметров сейсмического режима,

расчет сейсмических сотрясений различной интенсивности. Итогом этих работ является оценка исходного сейсмического балла на территории объекта с вероятностями возможного превышения (10, 5 и 1%) в течение 50 лет.

Для применения описанной выше методики, в части выполнения вычислений по второму и третьему блокам, в задаче оценки сейсмической опасности территорий арктических архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля был разработан и использован программный сервис «*Seismology online*».

Сервис «*Seismology online*» ориентирован на многопользовательскую работу в сети Интернет с использованием веб-браузера. Основой сервиса является сводный каталог землетрясений за период с начала XX века по 2017 год. Для его составления были задействованы следующие источники:

– сейсмический каталог УНУ «Архангельская сейсмическая сеть»;
– сейсмический каталог экспедиционной станции, установленной на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа в период с 1969 по 1970 гг. [3];
– специализированный каталог землетрясений Северной Евразии (*SECNE*) [7];
– каталог Международного сейсмологического Центра *ISC* [2], который, в свою очередь, содержит данные разных сейсмологических Центров;
– каталог сейсмологического агентства *NORSAR* [8];
– каталог Норвежской национальной сейсмической сети [9].

Каталог расширяется за счет автоматической/полуавтоматической загрузки данных из источников.

Для удобства анализа и выбора данных сервис позволяет вести список географических зон, определяемых пользователями. Границы географических зон можно задавать как графически, так и указав узловые точки вручную (рис. 1).

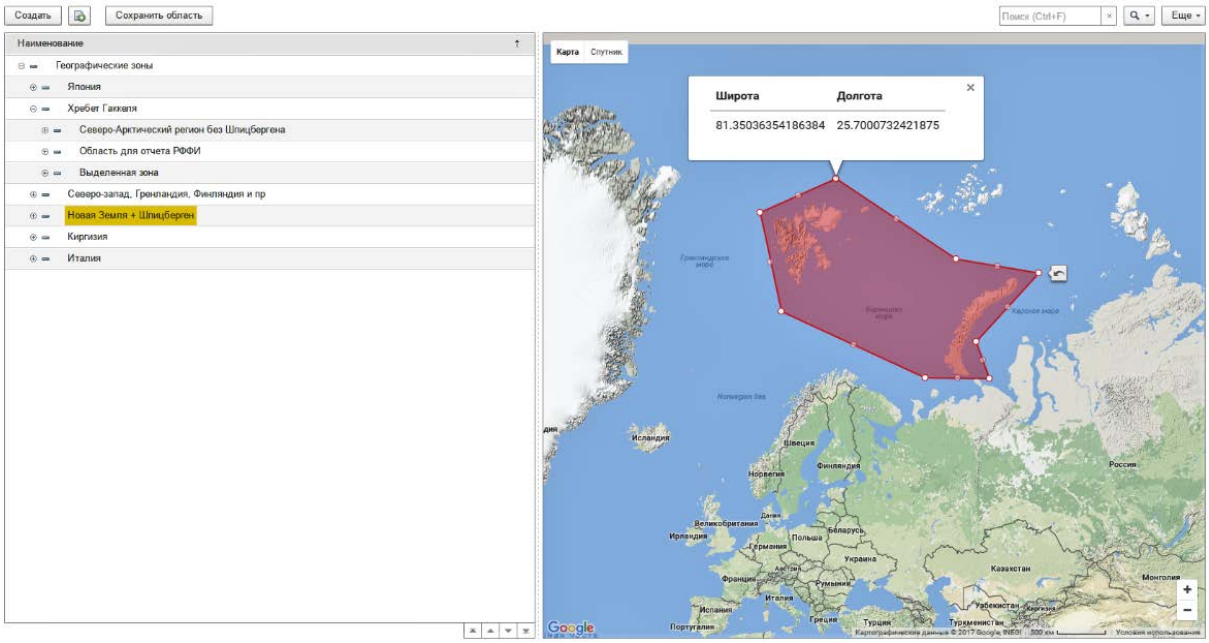
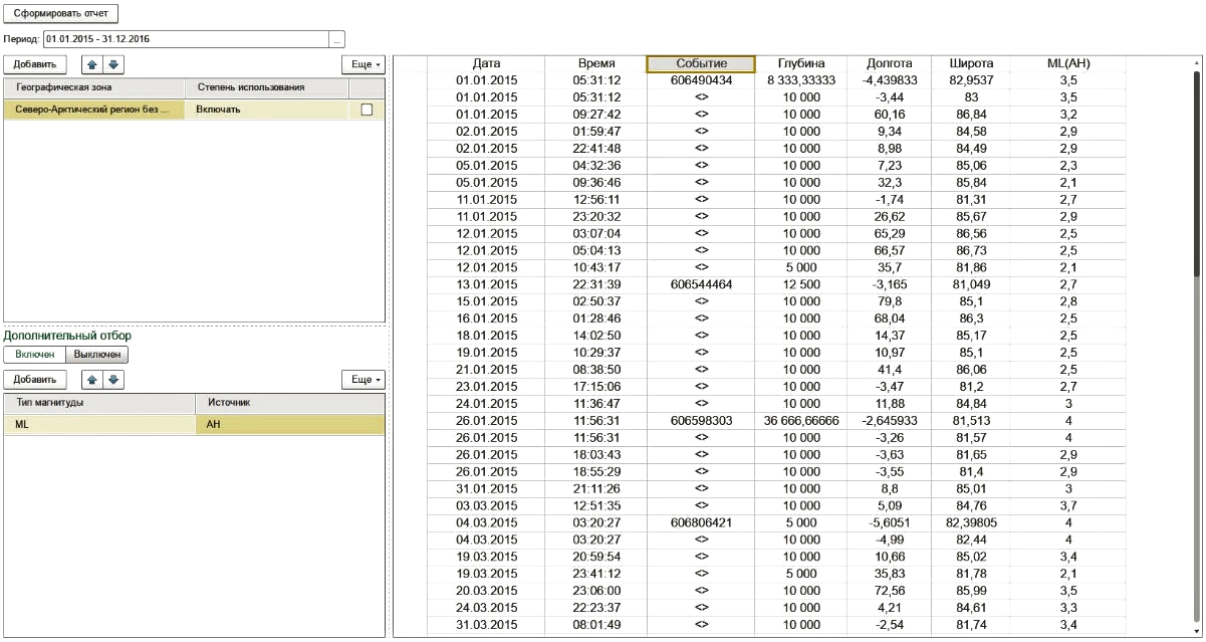


Рис. 1. Определение границ географической зоны

Для просмотра списка сейсмических событий или сохранения его в файл (поддерживаемые форматы *MS Excel*, *pdf* и пр.) реализован механизм вывода данных сводного каталога: можно выбрать необходимые географические зоны, период, источники, виды магнитуд (рис. 2). Также выбранные события сводного каталога землетрясений могут быть визуализированы на картах *ArcGis* (рис. 3).



Дата	Время	Событие	Глубина	Долгота	Широта	ML(AH)
01.01.2015	05:31:12	606490434	8 333,33333	-4,439833	82,9537	3,5
01.01.2015	05:31:12	<>	10 000	-3,44	83	3,5
01.01.2015	09:27:42	<>	10 000	60,16	86,84	3,2
02.01.2015	01:59:47	<>	10 000	9,34	84,58	2,9
02.01.2015	22:41:48	<>	10 000	8,98	84,49	2,9
05.01.2015	04:32:36	<>	10 000	7,23	85,06	2,3
05.01.2015	09:36:46	<>	10 000	32,3	85,84	2,1
11.01.2015	12:56:11	<>	10 000	-1,74	81,31	2,7
11.01.2015	23:20:32	<>	10 000	26,62	85,67	2,9
12.01.2015	03:07:04	<>	10 000	65,29	86,56	2,5
12.01.2015	05:04:13	<>	10 000	66,57	86,73	2,5
12.01.2015	10:43:17	<>	5 000	35,7	81,86	2,1
13.01.2015	22:31:39	606544464	12 500	-3,165	81,049	2,7
15.01.2015	02:50:37	<>	10 000	79,8	85,1	2,8
16.01.2015	01:28:46	<>	10 000	68,04	86,3	2,5
18.01.2015	14:02:50	<>	10 000	14,37	85,17	2,5
19.01.2015	10:29:37	<>	10 000	10,97	85,1	2,5
21.01.2015	08:38:50	<>	10 000	41,4	86,06	2,5
23.01.2015	17:15:06	<>	10 000	-3,47	81,2	2,7
24.01.2015	11:36:47	<>	10 000	11,88	84,84	3
26.01.2015	11:56:31	606598303	36 666,66666	-2,645933	81,513	4
26.01.2015	11:56:31	<>	10 000	-3,26	81,57	4
26.01.2015	18:03:43	<>	10 000	-3,63	81,65	2,9
26.01.2015	18:55:29	<>	10 000	-3,55	81,4	2,9
31.01.2015	21:11:26	<>	10 000	8,8	85,01	3
03.03.2015	12:51:35	<>	10 000	5,09	84,76	3,7
04.03.2015	03:20:27	606806421	5 000	-5,6051	82,39805	4
04.03.2015	03:20:27	<>	10 000	-4,99	82,44	4
19.03.2015	20:59:54	<>	10 000	10,66	85,02	3,4
19.03.2015	23:41:12	<>	5 000	35,83	81,78	2,1
20.03.2015	23:06:00	<>	10 000	72,56	85,99	3,5
24.03.2015	22:23:37	<>	10 000	4,21	84,61	3,3
31.03.2015	08:01:49	<>	10 000	-2,54	81,74	3,4

Рис. 2. Список событий сводного каталога землетрясений

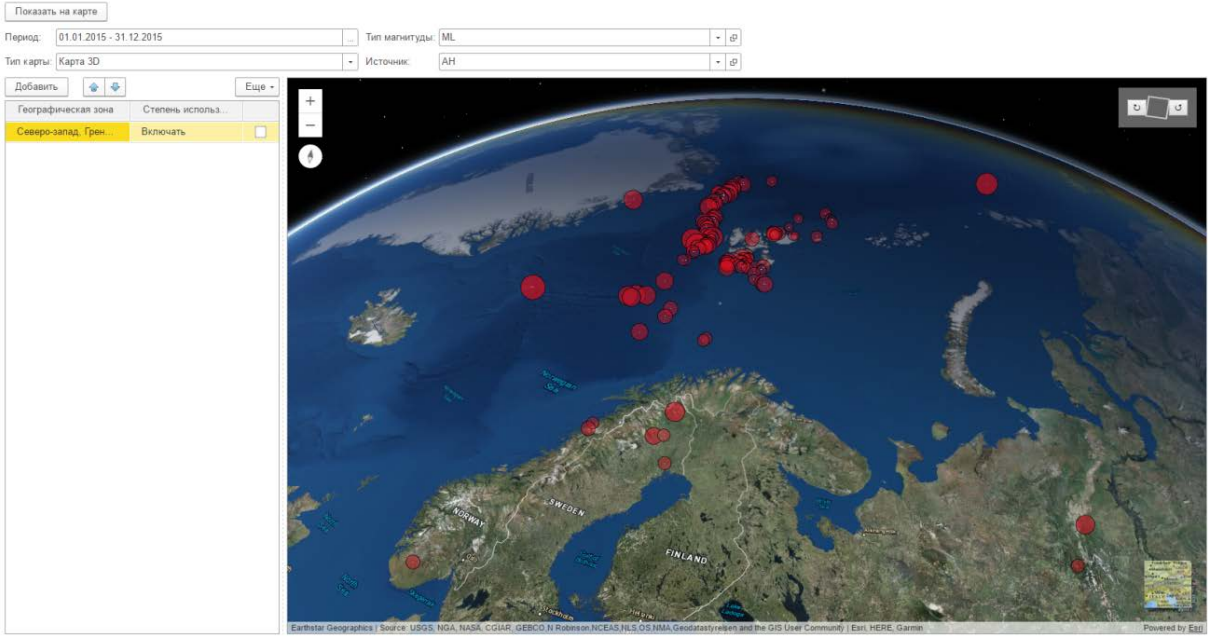


Рис. 3. Построение эпицентров сейсмических событий на карте

При создании сводного каталога определена модель перевода магнитуд разных типов, вычисленных в разных сейсмологических Центрах, в унифицированную магнитуду, а именно в моментную магнитуду (*Mw*), по соотношениям между магнитудами разных типов и Центров, выведенные в работах [1]. При добавлении или изменении данных в сводном каталоге автоматически пересчитываются унифицированные магнитуды, связанные с изменяемыми событиями.

Сервис позволяет решать задачи расчета сейсмической активности и сотрясаемости. Сейсмическая активность определяется по формуле

$$A_0 = \frac{1-10^{-b}}{10^{-b(M_{min}-M_0)}} * \frac{T_0 * S_0}{T * S} * N_S, \quad (1)$$

где b – наклон графика повторяемости; M_{min} – наименьшая представительная магнитуда (уровень представительности); M_0 – магнитуда землетрясений, которой соответствует рассчитываемая активность A_0; S – площадь площадки осреднения; T – период представительного наблюдения землетрясений; S_0 – принятая в соответствии с A_0 единица нормирования по площади, T_0 – единица времени; N_S – общее число землетрясений различных магнитуд $M \geq Mmin$, наблюденных за время T на площади S. Просмотр результатов расчета сейсмической активности и сотрясаемости доступен на картах *ArcGis* (рис. 4).

Расчет сейсмической сотрясаемости в данной точке (ячейке матрицы сотрясаемости) осуществляется путем численного интегрирования сейсмических воздействий в этой точке от всех сейсмических источников (ячейки матрицы $M_{\max}$) на рассматриваемой территории с учетом средней частоты повторения в них землетрясений различных магнитуд от низшей представительной вплоть до $M_{\max}$.

Вероятность превышения (P_t) рассчитывается из предположения, что поток землетрясений, во всяком случае, в области средних и более периодов повторения удовлетворяет распределению Пуассона, откуда следует, что превышение расчетной балльности за t лет может быть определено по формуле:

$$P_{It} = 1 - \exp(-t/T) \quad (2)$$

где T – средний период повторения сейсмической интенсивности I.

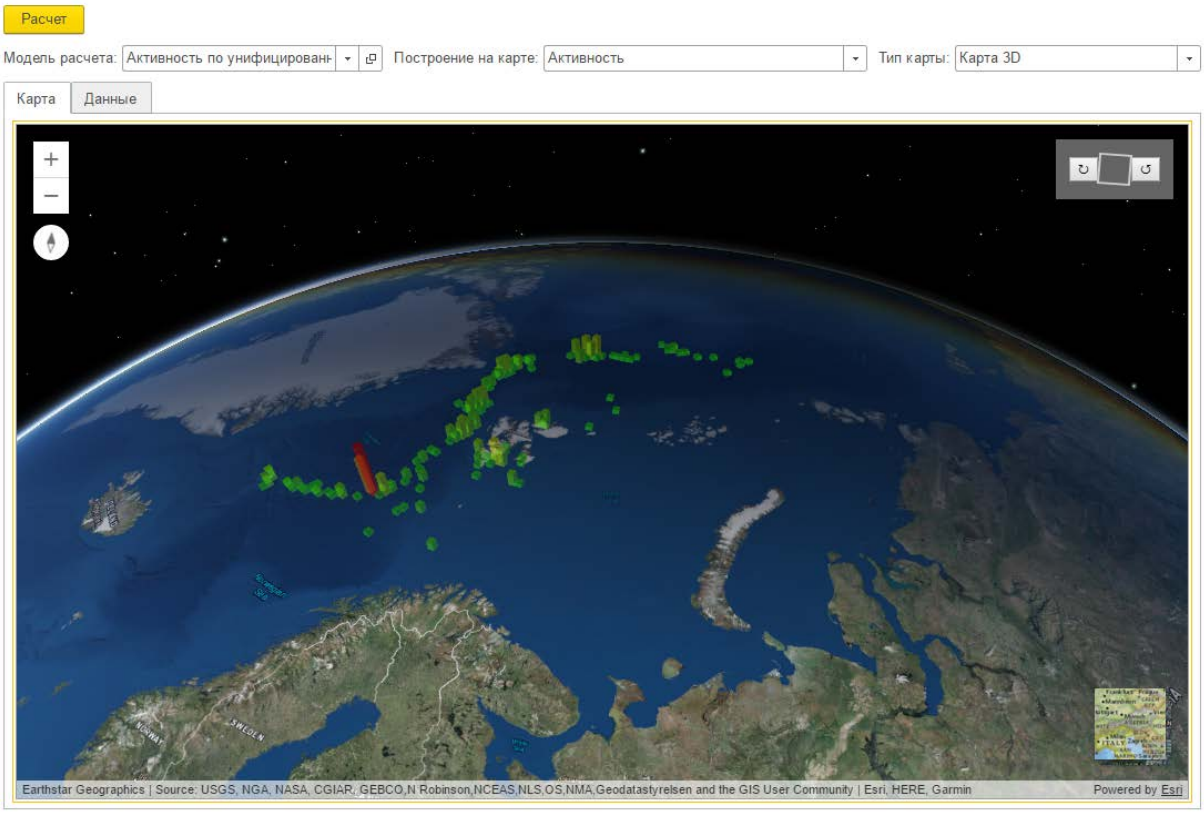


Рис. 4. Построение сейсмической активности на карте

Таким образом, создан программный сервис «*Seismology online*» на платформе 1С:Предприятие 8.3, позволяющее работать с различными видами сейсмических баз данных, производить расчет и визуализацию значений сейсмической активности и сейсмической сотрясаемости.

Выражаем благодарность за помощь в написании статьи в.н.с. лаборатории сейсмологии Морозову Алексею Николаевичу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Das R. Global regression relations for conversion of surface wave and body wave magnitudes to moment magnitude / R. Das, H.R. Wason, M.L. Sharma // Natural hazards. 2011. Т. 59. №. 2. С. 801-810.
2. Reference Event Bulletin / каталог Международного сейсмологического Центра ISC // Internat. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.isc.ac.uk
3. Аветисов Г.П. Сейсмическое районирование территории архипелага Земля Франца-Иосифа / Г.П. Аветисов // Геофиз. методы разведки в Арктике. Л.: 1971. Вып.6. С. 128-134.
4. Лутиков А.И. Методика оценки сейсмической опасности на стадии уточнения исходной сейсмичности / А.И. Лутиков, Е.А. Рогожин, А.Н. Овсюченко // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Третьей Международной сейсмологической школы. Кисловодск, 2008. С. 81-86.
5. Лутиков А.И. Уточнение исходной сейсмичности территорий в условиях их слабой сейсмической изученности / А.И. Лутиков [и др.] // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2009. С. 99-106.
6. Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности Северного Кавказа в детальном масштабе / Е.А. Рогожин, А.И. Лутиков, А.Н. Овсюченко // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 5. С. 14-19.
7. специализированный каталог землетрясений Северной Евразии (SECNE) / ред. Н.В. Кондорская, В.И. Уломов. 1996.
8. каталог сейсмологического агентства NORSAR / [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.norsardata.no
9. каталог Норвежской национальной сейсмической сети / [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.geo.uib.no/seismo/

SOFTWARE SERVICE «SEISMOLOGY ONLINE»

Yana A. Mikhailova[1], Anton V. Sadygov, Vladislav N. Grinin
[1]FCIARctic, Arkhangelsk
mikhailovayana@gmail.com, sadygov@gmail.com, grinin.vlad1@gmail.com

Abstract. Software service description based on 1C:Enterprise 8.3, allowing working with different types of seismological databases, computing and visualizing seismic activity and seismic tremor rates is provided in the paper.
Key words: seismology, catalog, earthquake, seismic activity, service, tremor rate

УДК 550.34

АФТЕРШОКОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТЯСЕНИЙ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Мкртчян Мери Артушовна, Саакян Бабкен Вазгенович
Геодакян Наира Эдуардовна
ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Армения
mary-mary-86@mail.ru, sahakyan_babken@mail.ru, geodakyan.e@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ пространственно-временного распределения афтершоковых процессов Рачинского (29.04.1991 г., M=7.0), Барисахского (23.10.1992 г., M=6.5) Закатальского (07.05.2012 г., M=5.6) сильных землетрясений, произошедших на южном склоне центральной части Большого Кавказа. Выявлены характерные особенности и основные закономерности проявления афтершокового процесса. В результате исследований этих землетрясений установлено, что афтершоковые процессы Рачинского и Барисахского землетрясений соответствуют афтершоковым процессам других сильных землетрясений, произошедших на территории Кавказа. В отличие от них, афтершоковый процесс Закатальского землетрясения, где эпицентральное поле афтершоков подвергалось пространственным изменениям, существенно отличается от характерных подобных явлений.

Ключевые слова: афтершок, основной толчок, магнитуда, эпицентр землетрясения, разлом, нодальная плоскость

На современном этапе сейсмотектонических исследований общепризнана приуроченность сейсмических очагов к определенным геологическим структурам, хотя связи тектоники и сейсмичности пока окончательно не установлены. Сложилось три независимых и непротиворечащих друг другу представления об этих связях, согласно которым очаги сильных землетрясений соответственно расположены в плоскостях крупных разломов, в дизъюнктивных узлах пересечения разломов разных рангов и в объёмных средах различных геологических структур при условии накопления в них напряжений. Последнее представление обосновывается тем обстоятельством, что все сильные землетрясения сопровождаются афтершоками, пространственные распределения которых в зоне разрыва формируют сейсмогенный объем. Пространственные распределения очагов сильных землетрясений Тавро-Кавказского региона, имеющего сложное строение сейсмотектонических структур, указывают на наличие в ней всех трех вышеуказанных представлений. Отметим, что во всех трех представлениях обязательным условием является наличие накопленных напряжений.

Как правило, все сильные землетрясения сопровождаются афтершоковыми процессами, которые, согласно закону Омори, имеют пространственно-временные закономерности, связанные с процессами накопления и перераспределения в очаговых зонах напряжений. Закон Омори, который является одним из наиболее обоснованных законов сейсмологии, указывает, что убывание количества афтершоков в единицу времени происходит постепенным образом [7]:

$$N(t) = \frac{A}{(t+c)^p} \quad (1)$$

где A, p, c – постоянные; p для различных землетрясений изменяется от 0.8-1.5.

Детальное исследование закона Омори, проведенное со стороны Шебалина и др. [3] выявило, что этот закон не всегда выполняется, или его выполнение ограничено определенными временными и магнитудными рамками. С их стороны предложен модифицированный вариант закона Омори [6],согласно которому выражение (1), характеризующее затухание интенсивности афтершокового процесса, целесообразно аппроксимировать тремя фазами. Первая фаза, которая соответствует начальному периоду афтершокового процесса (первые дни), характеризует напряженно-деформационное состояние разлома и хорошо аппроксимируется линейной зависимостью. Вторая фаза в основном отражает физико-механическое состояние геологической среды и аппроксимируется гиперболической зависимостью. Третья фаза – это стадия релаксации тектонических напряжений в очаговой зоне, и аппроксимируется экспоненциальной зависимостью.

С нашей стороны поставлена задача применить данный подход для изучения пространственно-временного анализа афтершоковых процессов трех сильных (Рачинского 29.04.1991 г. M=7.0, Барисахского 23.10.1992 г. M=6.5, Закатальского 07.05.2012 г. M=5.6) землетрясений, возникших на южном склоне центральной части Большого Кавказа (рис. 1).

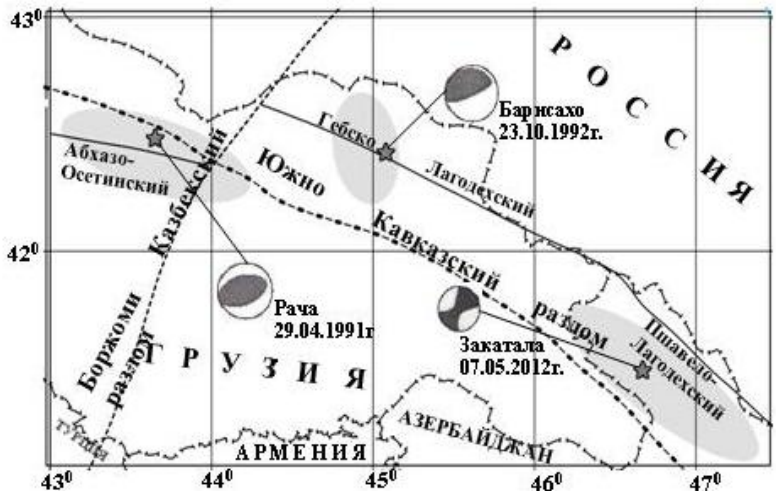


Рис. 1. Пространственное распределение афтершоковых зон сильных землетрясений, с фокальным механизмом и основные геолого-тектонические элементы в районе исследований

По геотектоническому строению эпицентральные области этих землетрясений расположены на стыке двух главнейших структурных единиц Кавказа: молодой горно-складчатой структуры Большого Кавказа и Закавказского срединного массива [4].

В исследуемой области расположены главнейшие Южно-Кавказский и Боржоми-Казбекский глубинные разломы первого ранга, а также Абхазо-Осетинский, Гебско-Лагодехский и Пшавело-Лагодехский разломы более низкого порядка [4], на которых соответственно расположены очаги Рачинского, Барисахского и Закатальского землетрясений. Сейсмотектонические подвижки в этой области обусловлены наличием в ней региональных близмеридионально направленных сжимающих напряжений, которые хорошо отражают механизмы очагов этих землетрясений. Механизмы очагов этих землетрясений представлены на рисунке (рис. 1) в проекции нижней полусферы, согласно которым в очаге Рачинского землетрясения наблюдалась взбросовая подвижка, а обе нодальные плоскости имеют северо-западное простирание, одна из них – пологая, другая – крутая. Подвижки по обеим плоскостям представлены взбросами [1, 4]. Механизм очага Барисахского землетрясения указывает, что в очаге происходят взбросо-сдвиговые подвижки. Одна из нодальных плоскостей имеет север-северо-западное простирание с углом падения 13º, вторая нодальная плоскость имеет северо-западное направление с углом падения 83º. В отличие от этих двух землетрясений механизм очага Закатальского землетрясения указывает, что в нем происходила правосторонняя сдвиговая подвижка. Первая нодальная плоскость имеет север-северо-западное направление с углом падения 8º, во

второй нодальной плоскости, имеющей угол падения 82º, преобладают взброс-сдвиговые подвижки.

Количественные значения основных и динамических параметров очагов и афтершоковых процессов этих землетрясений приведены в таблице (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры и характерные значения афтершоковых процессов Рачинского, Барисахского и Закатальского землетрясений

№	Название события	Время	φ	λ	H	M	$M_{сил.аф}$	$N_{аф}$	$T_{пр.аф}$ сутки	S ($км^2$)
1	Рача 29.04.1991 г.	9:12	42.49	43.65	10	7.4	6.2	876	915	2782
2	Барисахо 23.10.1992 г.	23:19	42.43	45.08	33	6.5	5.5	142	790	1425
3	Закатала 07.05.2012 г.	4:40	41.50	46.67	10	5.6	5.5	62	319	3220

Из региональных каталогов землетрясений методом «пространственно-временного окна Кнопова» [5], выделены поля афтершоков и определены продолжительности афтершоковых процессов этих землетрясений.

На первом этапе проведен анализ пространственного распределения афтершоков. Применяя современный пакет программ GIS, построены карты афтершоковых областей этих землетрясений и оценены значения их площадей (рис. 2).

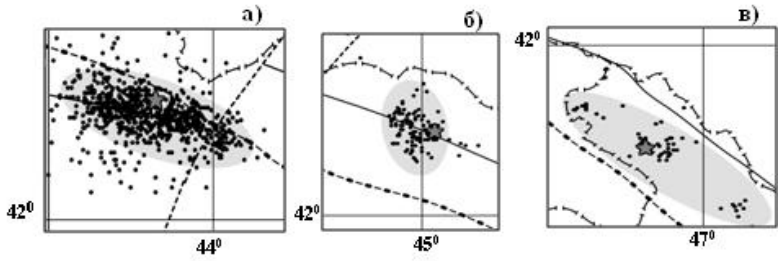


Рис. 2. Пространственное распределение афтершоков (а) Рачинского 29.04.1991 г., (б) Барисахского 23.10.1992 г., (в) Закатальского 07.05.2012 г. землетрясений

Анализ пространственного распределения указывает, что афтершоковая область Барисахского землетрясения имеет близкруговой вид, а афтершоковое поле Рачинского землетрясения представлено в виде эллипсоида, большая ось которого имеет близширотное направление. Эпицентр главного толчка Рачинского землетрясения расположен в центре выделенного эллипса, а Барисахского землетрясения – смещён в восточную окраинную часть афтершокового поля. Особый интерес представляет картина афтершокового поля Закатальского землетрясения. Как видно из рисунка (рис. 2в), оно имеет северо-западное – юго-восточное простирание, и выделяется тремя группирующимся областями. В отличие от Рачинского и Барисахского землетрясений, Закатальское землетрясение имеет 2 сильнейших афтершока, магнитудные значения которых (M=5.5; M=5.4) близки к магнитудному значению основного толчка. Эпицентры основного и одного из афтершоков расположены в центральной части афтершокового поля, второй наиболее сильный афтершок произошёл в северной части и формировал вторую, меньшую афтершоковую зону. Количественные значения площадей афтершоковых полей этих землетрясений приведены в таблице (табл. 1). Следует отметить, что площади афтершоковых полей Рачинского и Барисахского землетрясений соизмеримы со среднемировыми данными, имеющими соответствующие магнитудные значения. От этих данных существенно отличается значение площади афтершокового поля Закатальского землетрясения. Если отдельно рассмотреть афтершоковое поле основного толчка и первого сильнейшего афтершока, то площадь составляет 628 $км^2$. Если к нему добавить площади афтершокового поля второго сильнейшего афтершока и южного сегмента, то общая

площадь составит 3220 км^2. Учитывая небольшие магнитудные отклонения двух сильнейших афтершоков от значения магнитуды основного толчка, а также вышеописанные особенности проявления афтершокового поля Закатальского землетрясения, можно прийти к выводу, что в очаговой зоне Закатальского землетрясения имело место, впервые сформулированное Викулиным, так называемое спарение или «дуплет землетрясения» [2].

На втором этапе проведен временной анализ афтершоковых процессов. Для этой цели изучено затухание интенсивности афтершокового процесса во времени. Построены графики зависимости изменения интенсивности проявления афтершоков во временных интервалах, соответственно равных для Рачинского землетрясения 5; 100; 900 суток, Барисахского землетрясения 5; 100; 700 суток и Закатальского землетрясения 2; 100; 600 суток (рис. 3).

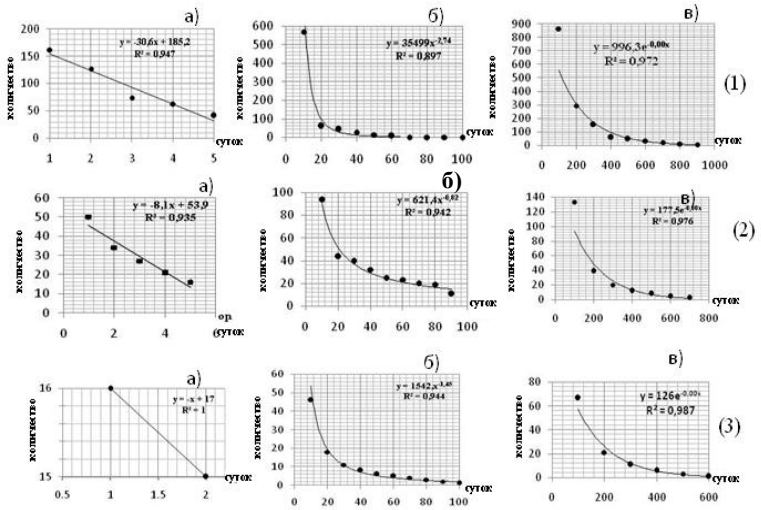


Рис. 3. Характеризующие кривые затухания афтершоковых процессов (1) Рачинского 29.04.1991 г. (2)Барисахского 23.10.1992 г. (3) Закатальского 07.05.2012 г. землетрясений

Из графиков зависимости наглядно видно, что при Рачинском и Барисахском землетрясениях затухания афтершоковых процессов в первые 5 суток, а при Закатальском землетрясении первые 2 суток, хорошо аппроксимируются линейной зависимостью. Во временном интервале, равном 100 суток, затухания аппроксимируются гиперболической зависимостью, а окончательное затухание происходит во временном интервале, соответственно, для Рачинского землетрясения 900 суток, Барисахского землетрясения 700 суток, Закатальского землетрясения 600 суток и хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью. Полученные результаты анализов указывают, что процессы затухания интенсивностей афтершоков во времени хорошо согласуются с модифицированным вариантом закона Омори [4, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакина Л.М. Механизм очагов Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. и его афтершоков, их геологическая интерпретация / Л.М. Балакина // Физика Земли. 1993. №3. С. 42-52.
2. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие для геофизических специальностей вузов / А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. 463 с.
3. Шебалин П.Н. Афтершоки как индикаторы напряженного состояния в системе разломов / П.Н. Шебалин // Доклады академии наук. 2004. том 398. № 2. С. 249-254.

4. Шенгелая Г.Ш. Первый каталог землетрясений Кавказа, составленный по программе «ГИПОЦЕНТРИЯ-ГМ», и некоторые вопросы современной геодинамики эпицентральной зоны Рача-Имеретинского землетрясения / Г.Ш. Шенгелая [и др.] // Тбилиси: Изд. «Мецниереба», 1995. 129 с.
5. Gardner J. Is the sequence of earthquakes in S. California, with aftershocks removed, Poissonian? Yes / J. Gardner, L. Knopoff // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1974. Vol. 64, №5. P. 1363-1367.
6. Holschneider M. Bayesian analysis of the modified Omori law / M.Holschneider [et al.] // Journal of geophysical research, vol. 117, BXXXXX, doi:10.1029/2011JB009054, 2012
7. Omori F. On the aftershocks of earthquake / F. Omori *// J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo.* 1894. vol. 7. pp. 111–200.

AFTERSHOCK PROCESSES OF STRONG EARTHQUAKES ON THE LEFT SLOPE OF GREATER CAUCASUS

Meri A. Mkrtchyan, Babken V. Sahakyan, Naira E. Geodakyan
IGES NAS RA, Gyumri, Armeniya
mary-mary-86@mail.ru, sahakyan_babken@mail.ru, geodakyan.e@mail.ru

Abstract. Aftershock process spatio-temporal-energy distribution analysis was made on Racha (29.04.1991 M = 7.0), Barisaho (23.10.1992 M = 6.5) Zakatala (07.05.2012 M = 5.6) earthquakes occurred on the southern slope of Greater Caucasus central part. Characteristic features and basic regularities of aftershocks process manifestation are revealed. As a result of these earthquakes study it is established that aftershock processes of Racha and Barisaho earthquakes accord with other strong earthquakes aftershocks occurred in Caucasus territory. The Zakatala earthquake aftershock, where non-central field of aftershocks was subjected to spatial variations significantly differs from characteristic processes.
Key words: aftershock, main shock, magnitude, hypocenter, snap, nodal plane

УДК 550.3

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ МЕТОДОВ ГЕОРАДАР И ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ НА ОДНОМ ПРОФИЛЕ

Мурыськин Алексей Сергеевич
ПГНИУ, г. Пермь
muriskinas@gmail.com

Аннотация. В работе проведено сравнение современных методов электроразведки – георадара и электротомографии, изложены их основные особенности. Дан пример их совместного применения для исследования техногенных неоднородных грунтов на участке бывшей строительной площадки корпуса №8 территории кампуса ПГНИУ. Даны краткие выводы о полученных результатах и рекомендации о возможности комплексирования данных методов для исследования грунтов на старых строительных площадках перед проведением земляных работ.

Ключевые слова: электроразведка, георадар, электротомография комплексирование, совместная интерпретация

Георадар и электротомография являются в данное время одними из самых распространенных методов при изучении пород верхней части разреза, инженерных изысканиях и обследовании строительных конструкций [2, 3].

Георадиолокация (георадар, георадиолокационное зондирование) – современный геофизический метод, основанный на распространении электромагнитный волн в среде. Он является, как и сейсморазведка, одним из волновых геофизических методов [5].

Принцип действия аппаратуры подповерхностного радиолокационного зондирования основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ исследуемой среды, разделяющих материалы с различными электрофизическими свойствами [4]. Такими границами раздела в реальных средах являются, например, контакты между сухими и водонасыщенными породами.

Метод электротомографии основан на использовании метода сопротивлений, при комбинировании зондирования и профилирования с плотным линейным шагом [1]. Одной из черт электротомографии является накопление большого объема данных, для чего используется специальное многоканальное геофизическое оборудование. В данной работе описана методика проведения работ при помощи обычной 4-электродной установки и аппаратуры АМС-1. Из плюсов данного метода можно отметить получение очень детальных разрезов сопротивлений, но для получения надежных результатов требуется проведение большого количества измерений, что ведет к значительному повышению трудозатрат при использовании стандартной 4-электродной аппаратуры.

В октябре 2016 года студентами геологического факультета были проведены полевые съемки методами электротомография и георадар на территории бывшей строительной площадки корпуса №8 кампуса Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ). Цель проведения работ – сравнение результатов, полученных методами георадар и электротомографии, а также оценка возможности их комплексирования. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- разработка методики съемки для электротомографии с применением аппаратуры АМС-1;
- проведение полевых съемок методами электротомографии и георадар;
- компьютерная обработка данных;
- визуализация результатов и их совместная интерпретация.

Основные трудности при проведении работ методом электротомографии были связаны с отсутствием специализированного многоэлектродного оборудования. Поэтому для реализации данного метода была использована следующая методика: профиль наблюдений был разделен на пикеты с линейным шагом 1 м. Затем проводились измерения осевой дипольной установкой с максимальным разносом 6 м, минимальным – 1 м. Длина профиля – 50 м. Все полученные данные заносились в журнал, после чего переписывались в файл в формате программы RES2DINV.

Съемки методом георадар проводились по тому же профилю с использованием аппаратуры Zond-12 фирмы Radar Systems Inc. При проведении работ использовалась антенна 300 МГц. Расстояние по профилю замерялось мерной лентой и фиксировалось на записи с помощью маркеров. После коррекции геометрических параметров профиля с помощью программы Prism данные были обработаны и визуализированы с помощью программы ReflexW. Георадиолокационный разрез представлен на рисунке (рис. 1).

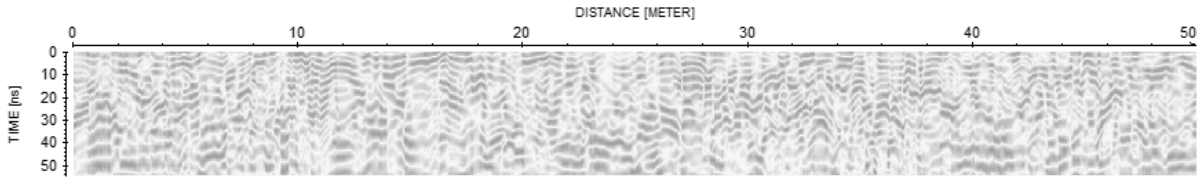


Рис. 1. Георадиолокационный разрез с коррекцией амплитуд

На георадиолокационном разрезе наблюдается множество локальных слабокоррелируемых отражений, связанных с мелкими неоднородностями среды. Эффективная глубина исследования не превышает 2 м, что связано со значительным поглощением высокочастотных электромагнитных волн глинистыми отложениями верхней части разреза. На разрезе можно проследить нерегулярную волновую картину на различных участках профиля. В частности, наиболее сильные отражения присутствуют на участке 15-19 м, а на участке 30-37 м наблюдаются многочисленные дифрагирующие объекты. Анализ разреза огибающей сигнала подтверждает наличие контрастных объектов.

После проведения томографической обработки данных с использованием программы RES2DINV был получен детальный разрез сопротивлений с эффективной глубиной до 1.5 м. Разрез представлен двумя способами визуализации – с логарифмической (рис. 2) и линейной (рис. 4) шкалой значений сопротивлений.

На разрезе сопротивлений с логарифмической шкалой достаточно сложно выделить локальные аномалии, но из этого можно сделать вывод о том, что верхняя часть разреза очень неоднородна по составу, возможно, в связи с наличием строительного мусора, крупных обломков бетонных конструкций и т.д. На разрезе с линейной шкалой контрастность локальных аномалий повышается, что позволяет более точно их локализовать. Данные аномалии высокого сопротивления, скорее всего, связаны с крупными объектами в разрезе – частями бетонных плит и т.д. Аномалии повышенных сопротивлений наблюдаются на участках 15-20 и 44-48 м в интервале глубин 0.5-1 м.

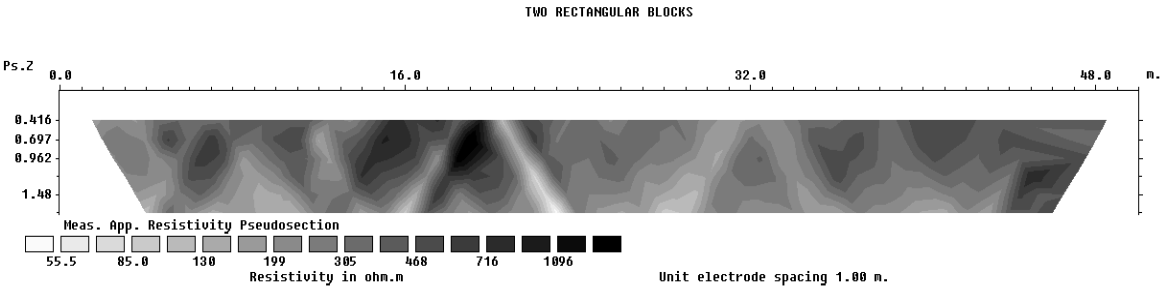


Рис. 2. Электротомографический разрез с логарифмической шкалой сопротивлений

Полученные данные можно истолковать следующим образом: верхняя часть разреза содержит большое количество неоднородностей, что связано с присутствием большого количества строительного мусора, оставленного после окончания строительства. Наличие дифракции и повышенных амплитуд отраженных волн на георадарном профиле и аномальных участков высокого сопротивления на разрезе сопротивлений, свидетельствуют о большом количестве контрастных объектов в приповерхностном слое (рис. 3, 4). На участках выявленных аномалий были обнаружены выходы на поверхность частей бетонных плит, битого кирпича и остатков цемента. Участки локализации этих объектов на геофизических разрезах пространственно совпадают, что указывает на достоверность данных, полученных каждым из методов, и возможность их

совместного использования для повышения надежности результатов исследования структурных особенностей грунтов.

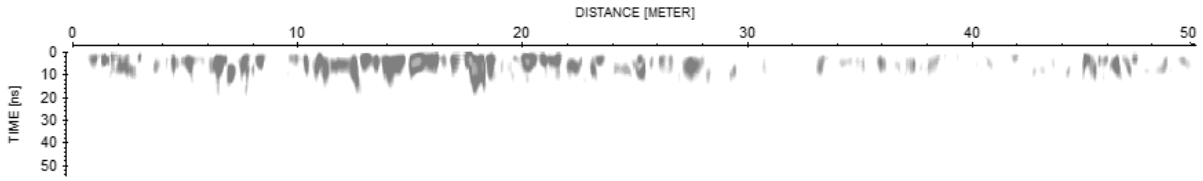


Рис. 3. Георадарный разрез огибающей сигнала

На рисунке 3 показаны георадарные данные после выделения огибающей сигнала, что позволило локализовать участки с повышенной контрастностью отражающих объектов.

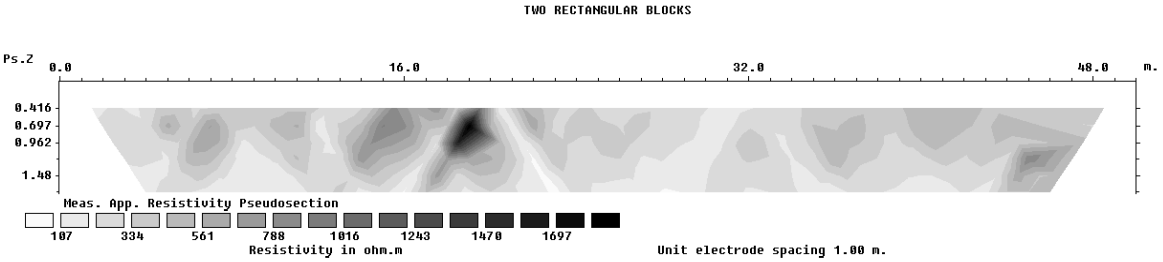


Рис. 4. Разрез сопротивлений с линейной шкалой

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

- георадар и электротомография дали идентичные результаты об общем строении пород верхней части разреза;
- комплексирование методов позволило бы снизить неоднозначность решения обратной задачи, а также снизить влияние внешних факторов на достоверность результатов отдельных методов;
- метод георадар дает более детальную информацию о структурных особенностях пород и может быть использован для детализации исследований на отдельных участках.

Применение методов георадара и электротомографии можно рекомендовать, например, для обследования участка прежней застройки перед проведением земляных работ под строительство нового объекта.

Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, доценту кафедры геофизики Пермского государственного университета Олегу Николаевичу Ковину за помощь на всех этапах проделанной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред / А.А. Бобачев [и др.] // Разведочная геофизика. Обзор. М.: АОЗТ «Геоинформмарк». Выпуск 2. 1996. 50 с.
2. Ковин О.Н. Использование метода электротомографии для локализации подземных пустот и карстовых объектов / О.Н. Ковин // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов. Горный институт Уральского отделения РАН; Главный редактор А.А. Барях. Пермь, 2011. С. 210-212.

3. Ковин О.Н. Результаты комплексного исследования карстового провала в деревне Саркаево / О.Н. Ковин [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 35-43.
4. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие / А.В. Старовойтов. – М.: Издательство МГУ, 2008. 192 с.
5. Markus Hirsch, Laurence R. Bentley and Peter Dietrich. A Comparison of Electrical Resistivity, Ground Penetrating Radar and Seismic Refraction Results at a River Terrace Site. Journal of Environmental & Engineering Geophysics (December 2008), 13(4):325-333.

DATA COMPARISON OF GEORADAR AND ELECTRICAL TOMOGRAPHY METHODS ON ONE TRACK

Aleksey S. Muryskin
Perm State University, Perm
muriskinas@gmail.com

Abstract. Data comparison of modern electric exploration methods – georadar and electrical tomography (ERT), their main features are presented in the paper. Example of their joint usage for industrial non-uniform ground study of former site area plot of #8 building of PSU campus is given. Results summary and advice as to possible methods integration to study grounds of old site areas before digging.
Key words: electric exploration, georadar, electrical resistivity tomography, integration, sequential interpretation

УДК 550.389.1

ИНЖЕНЕРНАЯ МАГНИТОРАЗВЕДКА ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Новикова Полина Николаевна[1,2], Ворошилов Владислав Алексеевич[2]
Копытин Валерий Валерьевич[1], Субботин Павел Алексеевич[1]
Калашникова Мария Михайловна[1], Темиров Павел Альбертович[1]
[1]ГИ УрО РАН, г. Пермь
[2]ПГНИУ, г. Пермь
polinagfz@gmail.com, vlad13a@gmail.com

Аннотация. Исследуются возможности локализации линейных инженерных сетей профильной и площадной микромагниторазведкой. Анализируется частотный состав вариаций магнитного поля методом EMD-разложения с целью фильтрации помех техногенного происхождения. Приводятся результаты интерпретации наблюденного магнитного поля.
Ключевые слова: инженерная магниторазведка, техногенные помехи, EMD-разложение, линейные подземные коммуникации, методика обработки данных магниторазведки

Обнаружение и исследование состояния инженерных сетей является актуальной задачей при строительстве и составлении топографических планов, так как зачастую

информация о расположении коммуникаций является устаревшей, или вовсе утерянной. Одним из неразрушающих инженерных методов малоглубинных исследований может выступать микромагнитная съемка. Магнитные материалы, обладающие естественной остаточной намагниченностью, из которых изготовлены инженерные сети: канализация, водопровод, газопроводы и теплотрассы, будут являться причинами возникновения магнитных аномалий. Отдельно следует выделить кабельные сети, которые являются источниками вторичного магнитного поля [2]. Подземным искусственным объектам всегда присуща большая пространственная упорядоченность, часто правильные геометрические формы, прямые углы и регулярная планировка [1], что упрощает трассирование инженерных сетей.

Основным сдерживающим фактором для проведения магниторазведочных работ является наличие широкого спектра помех техногенного происхождения в индустриальной среде [2]. Источники помех можно разделить на две большие группы: устройства, генерирующие сигналы высокой частоты (радиопередатчики радиовещательных и ТВ компаний, базовые станции сотовой связи, их телефонные трубки, генераторы промышленного назначения), и устройства, генерирующие импульсные помехи (создаются различными электрическими механизмами, в которых рабочие токи и напряжения испытывают резкие броски).

Для опробования возможностей инженерной магниторазведки в городских условиях в мае и октябре 2016 г. на территории кампуса ПГНИУ, вблизи первого корпуса были проведены рекогносцировочные профильные измерения; около пятого корпуса – площадные микромагнитные съемки с целью поиска подземных коммуникаций.

Профильные съемки. Целью профильных измерений была оценка устойчивости измерения модуля полного вектора магнитной индукции в условиях техногенных помех и оценке формы и амплитуд аномалий коммуникаций с известным расположением. Была проведена серия наблюдений по одному из профилей, перпендикулярно пересекающих основные линейные коммуникации. Такой эксперимент показал схожую форму магнитного поля на каждой серии измерений по профилю, однако наблюдалось различие амплитуд магнитных аномалий, которое могло достигать несколько сотен нТл.

Сопоставление истинного положения инженерных коммуникаций и магнитного поля позволяет определить характер аномалий, создаваемых различными объектами. На графике можно четко выделить отрицательные аномалии, амплитуда которых изменяется от 100 до 6500 нТл, такие аномалии характерны для кабельных сетей, в зависимости от напряжения изменяется и амплитуда аномалий. Следует выделить аномалию с амплитудой около 300 нТл над 21 пикетом, аномалии такого типа создаются чугунными канализационными трубами. Аналогично, аномалия над пикетом №50 соответствует аномалии, создаваемой стальным водопроводом (рис. 1). Можно отметить, что инженерные коммуникации создают контрастные аномалии, что способствует их обнаружению по значениям магнитного поля.

Площадная съемка. Площадная съемка включала в себя 639 магнитометрических пункта (МП) по 33 магнитометрическим профилям. Расстояние между профилями составило 1.5 м, расстояние между МП – 1 м. Общая площадь участка составила 700 м^2.

Для анализа возможных помех техногенного происхождения были установлены две магнитовариационные станции (МВС), представленные магнитометрами, основанными на эффекте Оверхаузера GSM-19 и MMPOS-1. Время работы МВС составило порядка 2 часов. Магнитометр GSM-19 был расположен на расстоянии 50 м от участка измерений, MMPOS-1 – непосредственно на участке.

В результате были получены две кривые вариаций магнитного поля с размахом интенсивности вектора магнитной индукции порядка 3000 нТл (рис. 2а). При этом ха-

рактер кривых указывает на наличие значительных низкочастотных и высокочастотных помех скрытой периодичности.

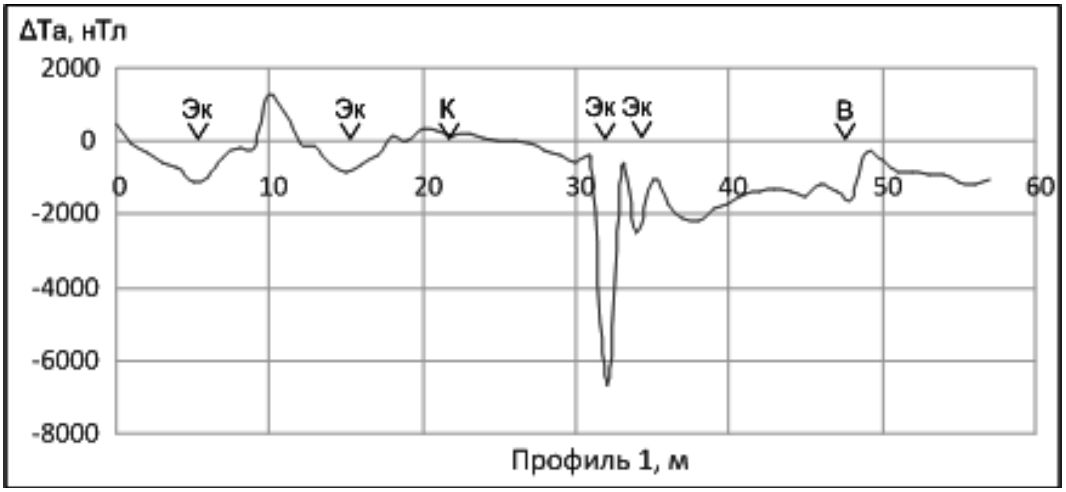


Рис. 1. Аномальное магнитное поле над основными типами подземных коммуникаций Эк – электрические кабели; К – канализация; В – водопровод

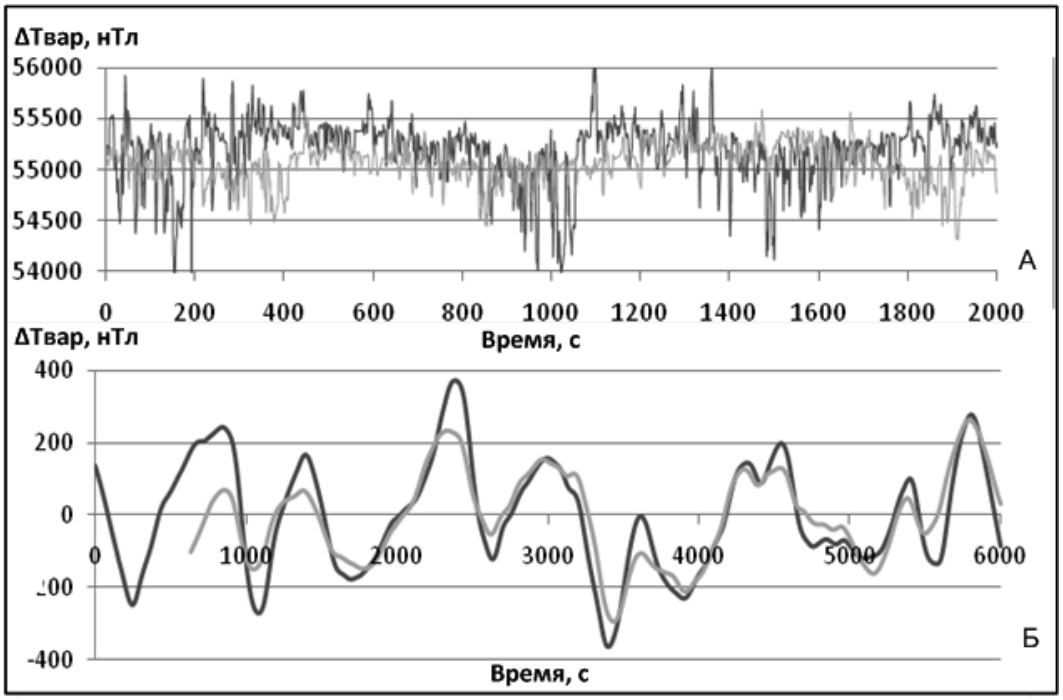


Рис. 2. Сравнение магнитных вариаций, полученных с магнитометров GSM-19 (темно-серая линия) и MMPOS-1 (светло-серая линия). А – фрагмент записи магнитных вариаций, Б – сравнение главных компонент магнитных вариаций с временным сдвигом

Для проверки идентичности измеренных магнитных вариаций и определения частотного состава сигнала были применены: сглаживание полученных кривых сигналов и метод эмпирической модовой декомпозиции (EMD-разложение) [3].

Сглаживание кривых для выявления главной компоненты было проведено методом Lowees. При сравнении выявлен схожий характер изменчивости магнитных вариаций с временным смещением порядка 10.5 мин. (рис. 2б). Это смещение связано с тем,

что из-за разного расположения МВС помехи, составляющие большую часть сигнала, приходили в разное время. Таким образом, делаем вывод о необходимости установки МВС непосредственно на участке наблюдения для корректного учета магнитных вариаций.

Так как помехи фактически являются нелинейным нестационарным сигналом, а их отделение от полезного сигнала является важнейшей частью обработки магнитометрических данных, было принято решение использовать метод эмпирической модовой декомпозиции (EMD). EMD (Empirical Mode Decomposition) – метод разложения сигналов на функции, которые получили название внутренних или «эмпирических мод». Метод представляет собой адаптивную итерационную вычислительную процедуру разложения исходных данных (непрерывных или дискретных сигналов) на эмпирические моды или внутренние колебания.

Любую функцию и любой произвольный сигнал, изначально содержащую произвольную последовательность локальных экстремумов (минимум 2), можно разделить на семейство функций различных внутренних колебаний и остаточный тренд. Если данные лишены экстремумов, но содержат точки перегиба («скрытые» экстремумы наложения модовых функций и крутых трендов), то для открытия экстремумов может использоваться дифференцирование сигнала. Таким образом, EMD-разложение можно использовать как эффективный инструмент частотного анализа нестационарных сигналов [3].

Данные с магнитовариационных станций GSM-19 и MMPOS-1 были разложены при помощи EMD-преобразования на 12 и 10 мод соответственно. Кривые разложения отражают периодические составляющие сигнала в диапазоне крайне низких частот от 0.56 до 130 мГц с амплитудами, достигающими максимального значения 400 нТл. В такой ситуации выделить истинные суточные вариации крайне затруднительно. При визуальном анализе компонент можно с легкостью выделить сложные модулированные высокочастотные и периодические низкочастотные компоненты, которые можно ассоциировать с помехами техногенного происхождения от различных источников, предположительно связанных с движением автомобильного и электротранспорта, а также наличия систем электроснабжения на участке наблюдения.

На следующем этапе было произведено EMD-разложение данных аномального магнитного поля по профилям (с учтенными вариациями), с целью обнаружения остаточных помех в обработанных данных, а также сравнение модовых компонент наблюденного поля и магнитных вариаций по каждому профилю. Такой анализ показал корреляцию низкочастотных составляющих профильных данных и магнитных вариаций. Таким образом, учет вариаций по стандартной методике позволяет практически убрать высокочастотные помехи, однако, оставляет часть низкочастотных компонент. Тогда для получения карты аномального магнитного поля из сигнала вычитаются низкочастотные модовые компоненты и фоновое значение магнитного поля.

Интерпретация полученных данных. Завершающим этапом стало построение аномального магнитного поля ΔTa и последующая качественная интерпретация полученных данных. По результатам качественной интерпретации были выделены следующие инженерные сети: электрокабели низкого и высокого напряжения, канализационные трубы и колодцы (рис. 3).

На участке можно четко проследить расположение электрокабелей по значительным отрицательным аномалиям. Причем вдоль предполагаемых электрокабелей высокого напряжения наблюдаются линейные отрицательные аномалии амплитудой в десятки тысяч нТл, зачастую сопровождающиеся импульсными «выскоками», превышающими в несколько раз среднее значение этих аномалий. Предполагаемые электрокабели низкого напряжения проявляются в аномальном магнитном поле линейными

отрицательными аномалиями (-200÷-500) нТл. На некоторых участках происходит сложение аномалий от электросетей и линии канализации, из-за чего затрудняется распознавание объектов подземной коммуникации.

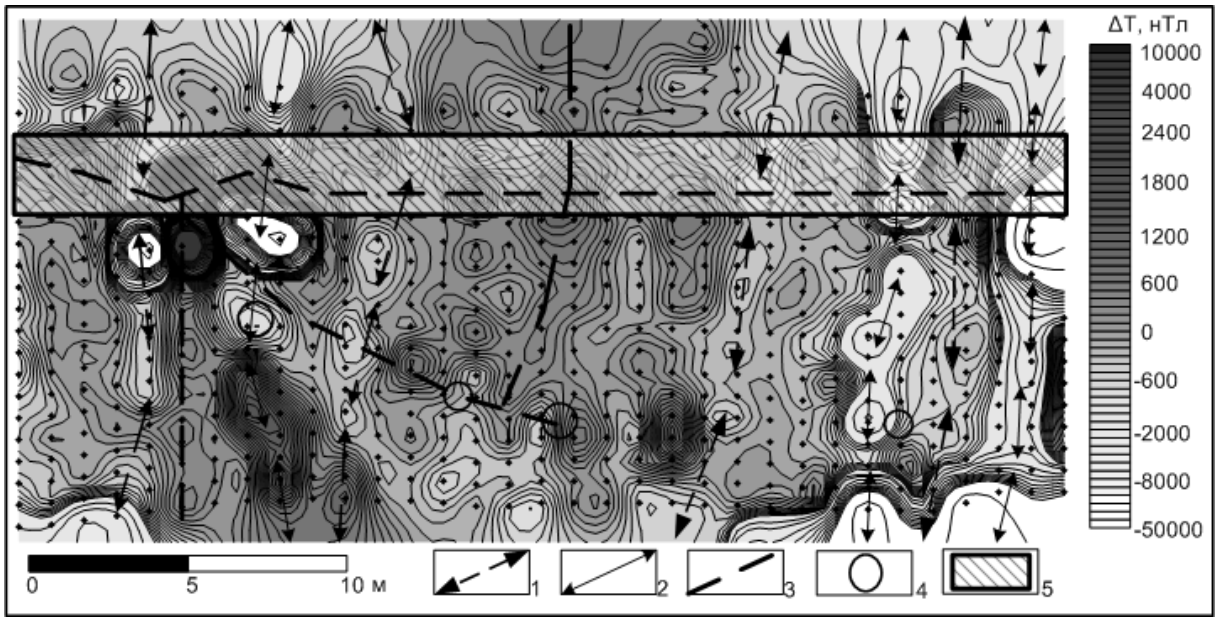


Рис. 3. Аномальное магнитное поле участка наблюдения
Условные обозначения: 1 – электрокабели высокого напряжения;
2 – электрокабели низкого напряжения; 3 – канализационные трубы;
4 – канализационные колодцы; 5 – асфальтовая дорога

Для сети канализаций характерны аномалии как для модели горизонтальной пластины, когда края пластины выступают в качестве отдельного магнитного заряда. На общем фоне канализационные сети проявляются линейными положительными аномалиями с амплитудой (200÷500) нТл. Железобетонные канализационные колодцы с чугунными люками отображаются в магнитном поле интенсивными знакопеременными аномалиями.

На практике была опробована методика учета техногенных помех, на основе EMD-разложения, которая зарекомендовала себя с положительной стороны. Была получена карта расположения подземных коммуникаций и проведено сопоставление аномалий и аномалеобразующих объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семаков С.Л. Магниторазведка в археологии / [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.archmap.ru/magnit.htm (дата обращения: 09.02.2017).
2. Уткин В.И. Искажение геомагнитного поля электромагнитным шумом низких частот техногенного происхождения / В.И. Уткин [и др.] // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. Вып. 15. № 1. С. 216-222.
3. Долгаль А.С. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных / А.С. Долгаль, Л.А. Христенко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 1. С. 100–108.
4. Давыдов В.А. Очистка геофизических данных от шумов с использованием преобразования Гильберта-Хуанга / В.А. Давыдов, А.В. Давыдов // Электронное

научное издание «Актуальные инновационные исследования: наука и практика», 2010, №1.

ENGINEERING MAGNETIC SURVEY FOR UNDERGROUND COMMUNICATIONS DETECTION IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC ORIGIN NOISE

Novikova Polina Nikolaevna[1,2], Voroshilov Vladislav Alecseevich[2]
Kopitin Valeriy Valerivich[2], Kalashnilova Mariya Mihaylovna[2]
Temirov Pavel Albertovich[2], Subbotin Pavel Alecseevich[2]
[1]MI UB of RAS, Perm
[2]Perm State University, Perm
polinagfz@gmail.com, vlad13a@gmail.com

Abstract. Localization possibilities of linear engineering communications by profile and areal micromagnetic survey are investigated. Frequency composition of magnetic field variations to filter anthropogenic origin noise by EMD-method is analyzed. Interpretation results of observed magnetic field are provided.
Key words: engineering magnetic survey, anthropogenic origin noise, EMD, linear underground communications, magnetic data processing method

УДК 550.34

СЕЙСМИЧНОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АРМЕНИИ

Оганнисян Айкуи Левоновна, Саакян Бабкен Вазгенович
Геодакян Наира Эдуардовна
ИГИС НАН РА, г. Гюмри
haykuhi.mkrtchyan.1987@mail.ru, sahakyan_babken@mail.ru
geodakyan.e@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрено пространственное распределение эпицентров на территории центральной части Армении и сопредельных районов с исторических времен по настоящее время. На основе инструментальных данных (1962-2015 гг.) оценены долговременные количественные параметры сейсмического режима и проведен анализ пространственно-временно-энергетических распределений этих параметров. Выявлено, что сейсмический режим исследуемой территории имеет сложный характер, в котором отражены различные формы аномальных проявлений сейсмических событий, предваряющих и сопутствующих, как сильных региональных, так и средних по силе местных землетрясений.
Ключевые слова: сейсмический режим, сейсмическая активность, разлом, эпицентр, магнитуда

Территория Армении, расположенная в центральной части переходной зоны Аравийской и Скифской литосферных макроплит, является одной из наиболее сейсмоактивных областей Таврокавказского региона.

Несмотря на малые географические размеры, с точки зрения геолого-тектонических смещений и характерных свойств сейсмических процессов, территорию Армении можно условно разделить на три сейсмотектонических элемента: Северная, Центральная и Южная Армения.

Особый интерес представляет собой детальное изучение сейсмичности и сейсмического режима территории Центральной Армении. Связано это с тем обстоятельством, что здесь расположена столица республики Ереван с высокой плотностью населения и такие стратегически важные объекты и сооружения, как атомная электростанция, крупные водохранилища, объекты химической промышленности. Исходя из вышесказанного, в работе поставлена задача оценить долговременные количественные параметры сейсмического режима и на основе пространственно-временно-энергетических распределений этих параметров выявить аномальные проявления сейсмичности. В качестве исследуемого района был рассмотрен город Ереван и область, охватывающая площадь с географическими координатами λ=43.85÷45.25ºE, φ=39.35÷40.7ºN.

Для адекватной оценки сейсмотектонических условий, исследуемая территория была расширена по долготе и широте на 1º, что позволило охватить активные глубинные разломы территории Армении и опасные сейсмогенные зоны сопредельных районов.

Из исходной базы данных основных параметров землетрясений ИГИС НАН РА для этих территорий были составлены два электронных каталога землетрясений: (1) для расширенной территории выбраны землетрясения, произошедшие с исторических времен по настоящее время с магнитудой M≥4.5[7], (2) для изучения сейсмического режима исследуемого района выбраны инструментальные данные землетрясений с 1962-2016 гг., с энергетическим классом K≥8[5].

Пространственное распределение землетрясений в расширенной области представлено на (рис. 1).

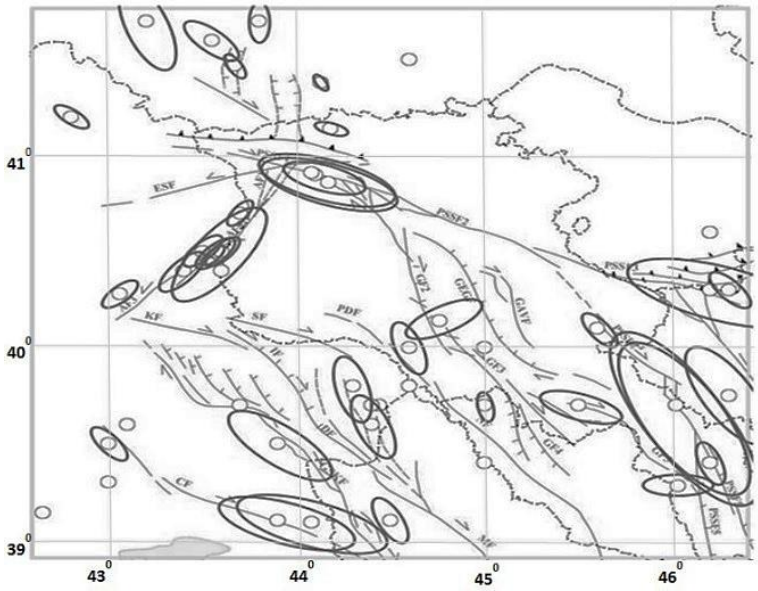


Рис. 1. Карта распределение очагов землетрясений с магнитудой M ≥4.5 с радиусом 150 км от г. Еревана

Очаги сильнейших землетрясений с магнитудой M≥6 приведены с естественными геометрическими размерами и азимутальными ориентациями [4, 8]. Анализ карты показывает, что почти все очаги сильнейших и разрушительных землетрясений расположены на активных глубинных разломах [3]. Непосредственно на исследуемой терри-

тории расположены очаговые зоны Двинского, Гарнийского, Цахкадзорского и Араратского землетрясения.

С целью выделения линейных структур эпицентров землетрясений, сейсмогенных зон и сейсмоактивных участков глубинных разломов, а также определения количественных параметров сейсмического режима, нами была построена карта эпицентров землетрясений, охватывающая г. Ереван с радиусом 50 км (рис. 2).

Для анализа изменений основных параметров сейсмического режима (γ *и* A_{10}) во времени был применен метод скользящего окна с временным интервалом 5 лет и шагом 1 год. Выбор временного интервала обусловлен необходимостью обеспечить достаточное количество сейсмостатистических данных для расчета γ *и* A_{10}. Также этот интервал соответствует среднему периоду подготовки и возникновения сильных землетрясений. Значение углового коэффициента наклона графика повторяемости и сейсмической активности определялось методом максимального правдоподобия по Куллдорфу [6]:

$$\gamma = \frac{1}{\Delta}\lg\left(1 + \frac{N - n_k}{\sum_{i=1}^{k}(i-1)n_i}\right). \quad (1)$$

Оценка максимального правдоподобия по Куллдорфу дает возможность сделать более точные оценки, несмотря на малые количества сейсмостатистических данных.

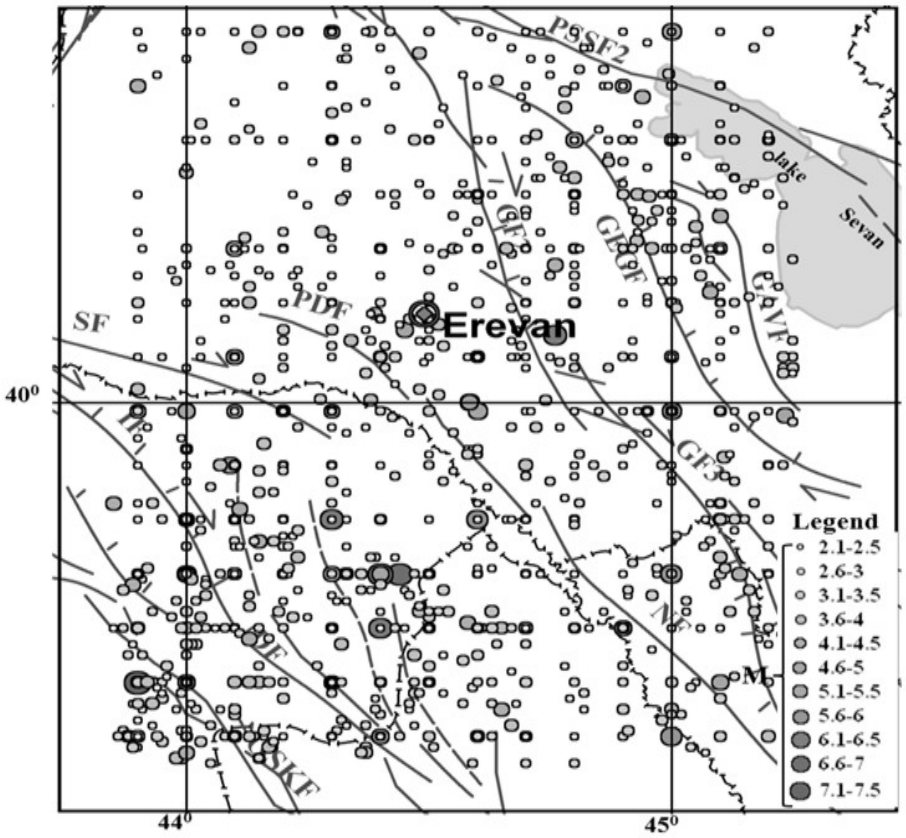


Рис. 2. Карта, охватывающая г. Ереван с радиусом 50 км, в масштабе 1:200000

На рисунке 3 долговременное значение основного параметра сейсмического режима γ принято 0.5 [1]. Как видно из графика, сейсмический режим Центральной Армении имеет неоднородный и сложный характер. На этом же графике приведены отклонения сейсмической активности A_{10}, численные значения которой варьируются в интервале 4÷7.1.

Анализ графика показывает, что параметры γ *и* A_{10} с 1962 по 1993 гг. изменяются синхронно, а с 1994 по 2006 гг. синхронность нарушается, что, по всей вероятности,

связано с перестройкой сейсмической сети. Нарушение синхронного изменения параметров сейсмического режима с 2007 по 2012 гг. связано с подготовкой сильного землетрясения в регионе (Ванское землетрясение 2011 г. M_w=7.2) и перераспределением локальных тектонических напряжений после его возникновения [2].

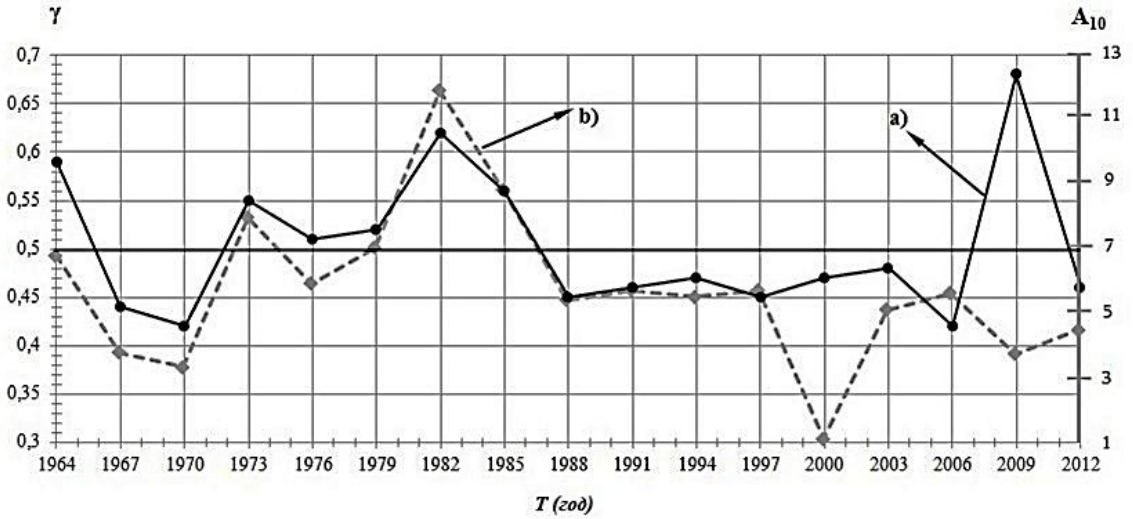


Рис. 3. Временная вариация количественных параметров сейсмического режима (γ и A_{10}) с годовым шагом

С целью анализа временно-энергетического распределения эпицентров землетрясений построен график-гистограмма распределения суммарной высвобожденной сейсмической энергии и количество землетрясений по годам (рис. 4).

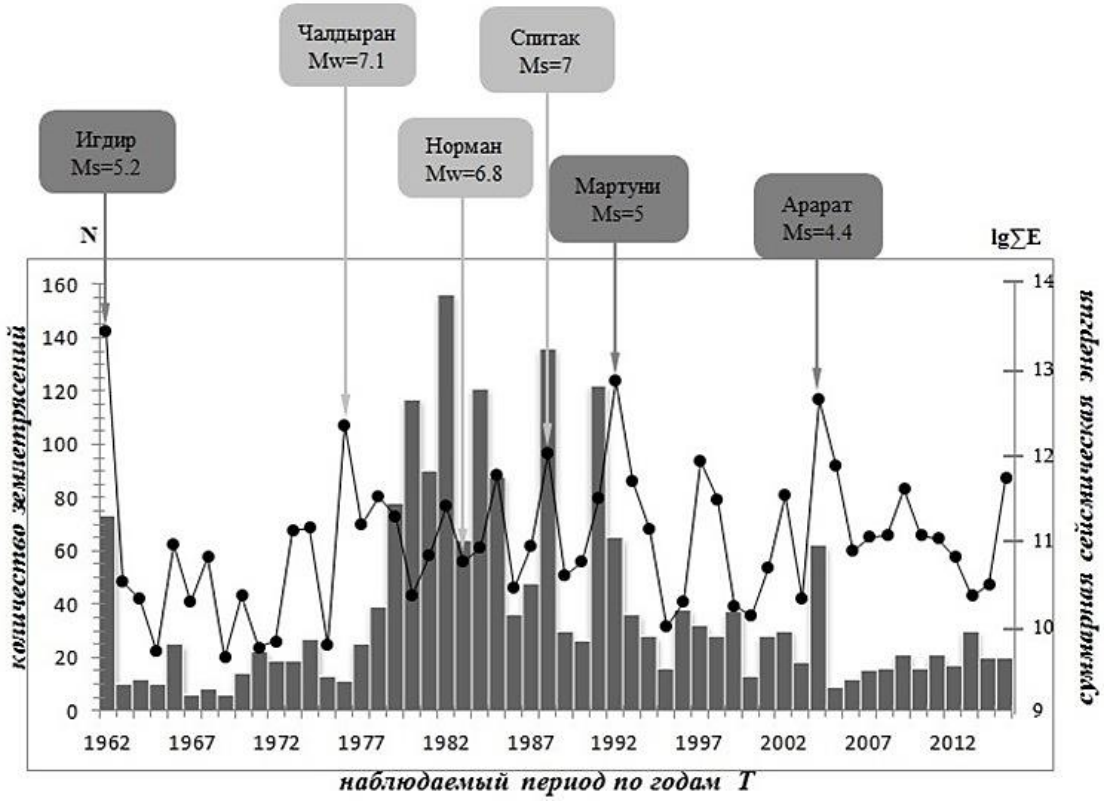


Рис. 4. Распределение суммарной сейсмической энергии и количества землетрясений по годам

Анализ графика-гистограммы показывает, что сейсмический режим исследуемой территории имеет сложный характер. Очевидно, выделяются 1962, 1992, 2004 годы, соответствующие Игдирскому (M=5.2), Мартунийскому (M_s=5), Араратскому (M_s=4.4) землетрясениям, и последовавших за ними афтершоковым процессам, где количество сейсмических событий и высвобожденная суммарная сейсмическая энергия имеют высокие значения. Особый интерес представляет промежуток времени 1976-1991 гг., когда, при большом количестве землетрясений, суммарная высвобожденная сейсмическая энергия имеет среднее значение, что связано с подготовкой, возникновением и афтершоковыми процессами произошедших в регионе сильнейших (1976 г. Ван-Чалдиранского M_w=7.1; 1983 г. Норманского M_w=6.8; 1988 г. Спитакского M_s=7,) землетрясений. В рассматриваемом временном интервале, в региональном напряженном поле, с аномальными проявлениями сейсмических событий выделяется последнее десятилетие (2006-2015 гг.), когда количество сейсмических событий и значение высвобожденной суммарной сейсмической энергии меняется однотипно и схематически имеет колокольную форму.

В результате вышеприведённых сопоставительных анализов, можем сделать вывод, что сейсмичность исследуемой территории имеет сложный флуктуационный характер, в котором отражены различные формы аномальных проявлений сейсмических событий, предшествующих и сопутствующих, как сильным региональным, так и средним по силе местным землетрясениям. В ходе дальнейшего сейсмического мониторинга подобные аномальные проявления сейсмического режима могут дать возможность выявить среднесрочные сейсмологические предвестники сильных землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюс Е.И. Сейсмические условия Закавказья / Е.И. Бюс. том I, II, III. Тбилиси, 1948, 1952, 1955.
2. Геодакян Э.Г. Методические подходы и результаты статистического анализа структуры слабой сейсмичности центральной части Армении / Э.Г. Геодакян // Сборник научных трудов конференции, посвященной 50-летию основания Института геофизики и инженерной сейсмологии им. академика А. Назарова НАН РА. Изд. «Гитутюн», 2011. С. 60-75.
3. Геодакян Э.Г. Поля плотностей сейсмического фона территории Армении и их связь с очагами сильных землетрясений / Э.Г. Геодакян [и др.] // Сборник научных трудов конференции, посвященной 50-летию основания Института геофизики и инженерной сейсмологии им. академика А. Назарова НАН РА. Изд. «Гитутюн», 2011. С. 77-82.
4. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения / И.П. Добровольский. М.: Изд-во «Наука», 1991. 224 с.
5. Землетрясения Северной Евразии в 1992-1998 гг. М.: АН РА, 1997, 1999-2004.
6. Куллдорф Г. Введение в теорию оценивания /Г. Куллдорф. М.: Наука, 1966. 176 с.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. Москва, 1977.
8. Ризниченко Ю.В. Избранные труды / Ю.В. Ризниченко // Проблемы сейсмологии. - М.: Наука, 1985. 405 с.

SEISMICITY AND SEISMIC SETTING OF CENTRAL ARMENIA

Haykuhi Hovhannisyan, Babken Sahakyan, Naira Geodakyan
IGES NAS RA Gyumri
haykuhi.mkrtchyan.1987@mail.ru, sahakyan_babken@mail.ru
geodakyan.e@mail.ru

Abstract. Epicenters positional relation to central Armenia territory and bordering areas from historical time to the present is considered in the paper. In terms of instrumentation data (1962-2015) long-time quantitative parameters of seismic setting and their spatio-temporal energy distribution analysis are carried out. It is found that seismic setting of study area is complex which reflects various forms of preventing and assistant seismic events and strong regional or local medium-strength earthquakes anomalous performance.
Key words: seismic setting, seismic activity, snap, epicenter, magnitude

УДК 550.34

ОБРАБОТКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2016 г. ПО РЕГЛАМЕНТУ СЛУЖБЫ СРОЧНЫХ ДОНЕСЕНИЙ В КАМЧАТСКОМ ФИЛИАЛЕ ФИЦ ЕГС РАН

Ототюк Дмитрий Анатольевич, Скоркина Анна Александровна,
Чебров Данила Викторович
КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
oppets2@emsd.ru, anna@emsd.ru, danila@emsd.ru

Аннотация. В работе представлены результаты работы Регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) «Петропавловск» по обработке сильных землетрясений ($M_S^{PET} > 6.0$) в рамках Службы срочных донесений (Службы предупреждения о цунами) на примере трех сильных землетрясений 2016 г.
Ключевые слова: землетрясение, цунами, служба срочных донесений (ССД), служба предупреждения о цунами (СПЦ), Камчатка

Сейсмостанция «Петропавловск» (PET) работает в режиме Службы срочных донесений (ССД) с 1951 г., а с 1958 г. начала работу и Система предупреждения о цунами (СПЦ). При ее проектировании в основу был положен сейсмический метод прогноза, базирующийся на регистрации сейсмических волн, опережающих волны цунами. Для того чтобы предупреждение о цунами оказалось своевременным, положение эпицентра и сила землетрясения должны быть определены с минимальными задержками после его начала. Обработка осуществлялась по одной станции.

В 2006-2010 гг. СПЦ коренным образом модернизируется [3] – значительно развивается сеть сейсмических приборов, что дает возможность перехода от работы по одной станции на сеть с опорной станцией (PET). Тем не менее, основой СПЦ нового поколения по-прежнему остается традиционный сейсмический метод и магнитудно-географический критерий по С.Л. Соловьеву. В работе [2] было предложено пороговое значение магнитуды для объявления тревоги цунами по Курило-Камчатской зоне, равное 7.0 (M_S), которое фактически используется до сих пор.

Основные функции и задачи современной СПЦ на Камчатке заключаются в круглосуточном непрерывном наблюдении за сейсмической обстановкой на морских границах РФ и акватории Тихого океана. Работу ССД (СПЦ) выполняет РИОЦ «Петропавловск». В случае сильных землетрясений результаты обработки оперативно передаются по установленному списку адресов (ГУ МЧС России по Камчатскому краю, ССД ФИЦ ЕГС РАН и др.). В случае сильного землетрясения в ближней зоне (1000 км от опорной станции) сотрудниками РИОЦ в течение 10 мин от начала записи на опорной станции принимается решение об угрозе цунами.

К службе предупреждения о цунами на Дальнем Востоке РФ привлечены: 5 специализированных станций, 6 вспомогательных станций, 55 акселерографов в 31 населенном пункте, а также другие станции Камчатской региональной сети (код D0). Для повышения достоверности получаемых оценок параметров землетрясений в РИОЦ «Петропавловск» в оперативном режиме дополнительно привлекаются станции глобальных сетей (ERM, JTS, MSVF из сети II; ADK, BILL, INCN, MA2, MAJO, MIDW, TIXI, YAK, YSS из сети IU, а также PMG из сети GE). Данные со всех станций поступают в режиме реального времени в информационно-обрабатывающие центры в Петропавловске-Камчатском, Южно-Сахалинске и Владивостоке.

Мониторинг сейсмической обстановки производится визуально по дисплеям реального времени и контролируется средствами звуковой сигнализации. При регистрации сильного землетрясения в ближней зоне любой из сейсмических станций, входящих в СПЦ, дежурная смена обязана не позднее двух минут от момента регистрации землетрясения передать в Центр цунами (ФГБУ «Камчатское УГМС») сообщение о происходящем сильном землетрясении – сигнал «Регистрируется сильное землетрясение!». Затем по сейсмическим данным производится определение параметров землетрясения (координаты эпицентра, глубина гипоцентра, время в очаге) и его магнитуда. Передача сообщения в Центр цунами осуществляется не позднее 7, 10, 20, 30, 40 минут для эпицентральных расстояний до 200, 1000, 2000, 3000 и 4000 км, соответственно.

Отметим, что не только Курило-Камчатские землетрясения представляют опасность цунами для морских границ РФ, но и удаленные землетрясения района Тихого океана (в первую очередь, залива Аляска, Алеутского желоба и Перуано-Чилийского желоба) [1]. Например, в результате сильного землетрясения с $M_W = 9.5$ у побережья Чили (23 мая 1960 г.) образовалось цунами, подошедшее к берегам Камчатки через 22–25 часов; максимальная высота подъема воды достигала 6-7 м. Поэтому в случае регистрации сильного землетрясения ($M_S^{PET} > 6.5$) с $\Delta_{PET} > 1000$ км, полный результат обработки (с $M_S^{PET} > 6.5$) также отправляется в Центр цунами.

В мире за 2016 г. произошло 46 сильных землетрясений ($M_W \geq 6.5$) [6]. Эпицентры подавляющего большинства этих землетрясений расположены на значительных удалениях от Дальневосточного побережья РФ. Для Тихоокеанского региона по 33 землетрясениям Глобальная система оповещения о стихийных бедствиях и координации (GDACS [5]) выпускала сообщения об угрозе цунами: 28 – «зеленого» уровня, то есть существует низкая вероятность цунами и 5 – более высокого «оранжевого» уровня (существует вероятность локального цунами).

В РИОЦ «Петропавловск» оперативно обработаны 44 землетрясения, приуроченные к акватории Тихого океана с магнитудой $M_S^{PET} > 6.0$ (табл. 1). Из них восемь произошли в Дальневосточном регионе и два (из восьми) – в зоне ответственности РИОЦ «Петропавловск» (1000 км). Все землетрясения обработаны согласно действующим нормативам. Камчатским центром тревога цунами в 2016 году не объявлялась.

Таблица 1

Параметры и магнитуды землетрясений с M_S^{PET} > 6.0 за 2016 год, приуроченных к акватории Тихого океана

№	Дата	Время	Δ_{PET}, °	M_S^{PET}	Координаты			M_W^{NEIC}
					φ, °	λ, °	*H*, км	
1	11/01/2016	16:38:10	55.7	6.1	3.8	126.6	50	6.5
2	11/01/2016	17:08:01	14.4	6.0	44.4	141.1	250	6.2
3	14/01/2016	3:25:30	15.4	6.2	41.9	142.9	75	6.7
4	21/01/2016	18:06:54	78	6.1	18.8	-106.5	0	6.6
5	24/01/2016	10:30:23	27.4	6.0	59.5	-152.4	138	7.1
6	08/02/2016	16:19:12	59.7	6.1	-6.8	154.5	38	6.4
7	10/02/2016	0:33:07	137.3	6.2	-30.5	-71.7	33	6.3
8	12/02/2016	10:02:28	17.9	6.2	50.9	-172.5	20	6.3
9	02/03/2016	12:49:48	78.5	7.8	-4.2	93.9	15	7.8
10	20/03/2016	22:50:17	2.9	6.0	54.1	163.2	60	6.4
11	03/04/2016	8:23:52	67.5	6.7	-14.4	167.2	18	6.9
12	06/04/2016	6:58:48	67.4	6.3	-14.2	167.4	0	6.7
13	07/04/2016	3:32:46	66.9	6.6	-13.7	166.7	1	6.7
14	14/04/2016	12:17:00	67.7	6.2	-14.6	167.1	0	6
15	14/04/2016	21:50:24	68.1	6.0	-15	167.1	42	6.4
16	15/04/2016	16:25:09	28.4	7.6	32.9	130.6	66	7
17	16/04/2016	23:58:37	107.7	7.1	0.4	-80.4	0	7.8
18	28/04/2016	19:33:24	69.4	6.8	-16.2	167.8	29	7
19	29/04/2016	1:33:37	86.1	6.2	10.6	-103.8	1	6.6
20	18/05/2016	7:57:04	108.1	6.2	0.5	-79.6	37	6.7
21	18/05/2016	16:46:51	108.1	6.4	0.7	-79.4	54	6.8
22	01/06/2016	22:55:58	73.6	6.0	-2.6	100.5	71	6.6
23	10/06/2016	4:17:47	61.7	6.1	-8.9	160.2	70	6.2
24	13/07/2016	12:11:11	84	6.3	-28.4	-176.1	23	6.3
25	29/07/2016	21:18:15	36	7.0	18.4	145.6	148	7.7
26	12/08/2016	1:26:33	76.3	7.1	-22.5	173	0	7.2
27	20/08/2016	9:01:25	16.2	6.3	40.5	143.6	55	6
28	20/08/2016	15:58:01	16.2	6.1	40.5	143.6	15	6
29	01/09/2016	16:38:03	91.8	6.8	-37.4	178.8	49	7.1
30	05/09/2016	22:54:02	6.1	6.2	54.4	168.6	55	6.1
31	23/09/2016	0:14:32	21.9	6.5	34.8	141.4	0	6.2
32	17/10/2016	6:15:01	59.9	6.3	-6.5	148.9	100	6.9
33	26/10/2016	5:19:50	71.8	6.0	-15.4	-174.9	0	6.1
34	13/11/2016	11:03:10	95	7.8	-41.7	172.4	26	7.8
35	14/11/2016	0:34:33	96.1	6.4	-42.5	173.7	77	6.5
36	21/11/2016	20:59:44	19.6	6.8	37.4	141.6	2	6.9
37	24/11/2016	18:43:54	93.5	6.7	12.2	-88.5	62	7
38	06/12/2016	22:03:38	69.2	6.9	5.6	96.2	9	6.5
39	08/12/2016	17:38:47	63.3	8	-10.5	161.4	40	7.8
40	08/12/2016	21:56:11	63.6	6.2	-10.8	161.2	55	6.5
41	09/12/2016	19:10:07	63.8	6.9	-11	161.2	1	6.9
42	17/12/2016	10:51:12	57.6	7.1	-4.7	153.5	132	7.9
43	20/12/2016	4:21:26	63.2	6.0	-10.4	161	5	6.4
44	25/12/2016	14:22:31	144.8	7.3	-43.9	-73.8	50	7.6

Ниже приведем описание оперативной работы РИОЦ «Петропавловск» на примере трех сильных землетрясений 2016 года: 1 – Жупановское землетрясение [3] как пример сильного близкого события, но с координатами эпицентра на суше; 2 – землетрясение в Кроноцком заливе как пример близкого, потенциально цунами опасного (№10 в табл. 1); и 3 – землетрясение в районе Фиджи как пример сильного далекого события (№26 в табл. 1).

1 – 30 января в 03^h25^m по Гринвичу (в 15^h25^m по местному времени) под восточным побережьем Камчатки произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_W = 7.2$. В 03^h25^m сработал первый сигнализатор (регистрация Р-волны на станции AVH). В 03^h26^m передан сигнал «Регистрируется сильное землетрясение!» в Центр цунами. В 03^h28^m получена предварительная оценка параметров землетрясения (через 2 мин 50 с со времени в очаге). В 03^h30^m (через 4 мин 37 с со времени в очаге) уточненные параметры землетрясения (53.87° с. ш., 159.17° в. д., глубина $H = 160$ км, $M_S^{PET} = 5.7$, $M_S(20R) = 6.5$, $K_P = 15.2$) отправлены в Центр цунами. Тревога цунами не объявлялась. В 03^h31^m отправлена оперативная сводка по ССД.

2 – 20 марта в 22^h50^m по Гринвичу (в 10^h50^m по местному времени) на границе Камчатского и Кроноцкого заливов произошло землетрясение с $M_S = 6.0$. В 22^h50^m сработал первый сигнализатор (регистрация Р-волны на станции TUMD). В 22^h51^m передан сигнал «Регистрируется сильное землетрясение!» в Центр цунами. В 22^h54^m получено первое решение с $K_S^{PET} = 14.7$. В 22^h57^m результат обработки ($\Delta_{PET} = 2.91°$, $M_S^{PET} = 6.0$, φ=54.11° с.ш., λ=163.6° в.д., H = 60 км) отправлен в Центр цунами. Тревога цунами не объявлялась. В 22^h58^m отправлена оперативная сводка по ССД.

3 – 12 августа в 01^h26^m по Гринвичу в районе Фиджи произошло землетрясение с $M_S = 7.1$. В 01^h36^m сработал первый сигнализатор (регистрация Р-волны на станции MIDW). В 02^h12^m получено полное решение (с оценкой M_S^{PET}): $\Delta_{PET} = 76.3°$, $M_S^{PET} = 7.1$, φ=22.5° ю.ш., λ=173.0° в.д., H = 1 км. В 02^h14^m отправлена оперативная сводка по ССД. В 02^h27^m результат обработки передан в Центр цунами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусяков В.К. Взаимосвязь волн цунами с параметрами источника при подводных землетрясениях / В.К. Гусяков // Математические проблемы геофизики: Сб. науч. тр. / РАН. Сиб. отделение. Вычисл. центр. – 1974. – №. 5 – Часть 1. – С. 118-140.
2. Соловьев С.Л. Цунами и интенсивность Курило-Камчатских землетрясений / С.Л. Соловьев, Н.В. Шебалин // Известия АН СССР, серия геофизическая. – 1959. – №8. – С. 1195-1198.
3. Чебров В.Н. Концепция развития системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России / В.Н. Чебров [и др.] // Сейсмические приборы. – 2009. – Т. 45. – №4. – С. 41-57.
4. Чебров В.Н. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_S = 15.7$, $M_W = 7.2$, $I = 6$ (Камчатка) / В.Н. Чебров [и др.] // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2016. – №1. – С. 5-16.
5. Global Disaster Alert and Coordination System / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gdacs.org/alerts/ (Дата обращения: 30.01.2017).
6. National Earthquake Information Center (NEIC) USGS / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php (Дата обращения: 30.01.2017).

STRONGEST EARTHQUAKES OF 2016 PROCESSED BY URGENT MESSAGE SURVEY OF KB GS RAS

Dmitriy A. Ototiuk, Anna A. Skorkina, Danila V. Chebrov
KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
oppets2@emsd.ru, anna@emsd.ru, danila@emsd.ru

Abstract. Processing results of three strongest earthquakes ($M_S^{PET} > 6.0$) in 2016 obtained by Regional processing center «Petropavlovsk» as an example of routine work in Urgent Message Survey of KB GS RAS (and seismological component of Tsunami Warning System) are covered in the paper.
Keywords: earthquake, tsunami, Urgent Message Survey, Tsunami Warning System, Kamchatka

УДК 550.834

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСЧЕТА ГОЛОВНЫХ ВОЛН НА ОПОРНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ

Полянский Павел Олегович
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
PPavel6.10@gmail.com

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы, связанные с влиянием кривизны профиля и рельефа местности на результат динамического пересчета головных волн. Доказано, что криволинейность и рельеф действуют на результат пересчета как низкочастотные фильтры. Для условий Центрального участка опорного профиля 3-ДВ показано, что влияние извилистости профиля и рельефа на динамический пересчет данных ОГТ невелико – уменьшение амплитуд сигналов головных волн не превышает 13% в полосе частот 13-25 Гц. Также показано, при каких геоморфологических параметрах влияние рельефа местности и извилистости профиля приведет к значительной потере точности динамического пересчета.
Ключевые слова: Опорный геофизический профиль 3-ДВ, головные волны, временной разрез, цифровая обработка сейсмических данных

Введение

Метод динамического пересчета, обоснованный в [2] и развитый в [1], позволяет производить цифровую обработку данных головных волн, зарегистрированных по плотным системам наблюдений и получать информацию о свойствах преломляющих границ в земной коре. В работах [3, 4] динамический пересчет с успехом применялся для обработки данных сверхглубинного ОГТ на опорном профиле 3-ДВ, длиной около 3000 км. Линия профиля 3-ДВ характеризуется определенной кривизной и неоднородностью рельефа дневной поверхности по высоте. В представленной работе рассматривается вопрос влияния этих факторов на точность обработки данных сверхглубинного ОГТ методом динамического пересчета головных волн.

Особенности динамического пересчета головных волн на опорных профилях

В работе [5] показано, что при пересчете волнового поля из точки (*i, j+1*) в точку (*i+1, j+1*) обобщенной плоскости наблюдений по множеству трасс, входящих в область прослеживания целевой волны, в случае непараллельности нагоняющих годографов, спектр пересчитываемого сигнала необходимо умножить на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) фильтра, учитывающего показатель непараллельности (θ_a):

$$S_{i+1}^{j+1}(\omega) = F_i^{j+1}(\omega) \cdot \sum_{a=1}^{n} \exp(I \cdot \omega \cdot \theta_a), \quad (1)$$

где *n* – число пар трасс, лежащих в области прослеживания на нагоняющих годографах, *a* – текущие номера, ω – циклическая частота, *I* – комплексное число, действительная часть которого равна 0, а мнимая часть равна 1. $F_i^{j+1}(\omega)$ – спектр трассы в точке (*i, j+1*) при параллельных нагоняющих годографов, а $S_{i+1}^{j+1}(\omega)$ – спектр трассы в точке (*i+1, j+1*), с учетом непараллельности нагоняющих годографов. Такой фильтр является разновидностью фильтра низких частот.

Непараллельность нагоняющих годографов головных волн из-за кривизны (извилистости) профиля. Чтобы учесть извилистость профиля, рассмотрим линию профиля на плоскости в параметрическом виде (2):

$$Y(X) = A \cdot \sin(B \cdot X), \quad (2)$$

где *X, Y* – географические координаты источников и сейсмоприемников. *A, B* – параметры, определяющие кривизну линии профиля. Любой участок Центрального участка профиля 3-ДВ можно представить в виде суперпозиции линий (2), характеризующихся разными значениями параметров *A* и *B*.

В этом случае, годограф головной волны *t (X, Y(X))* описывается выражением (3):

$$t(X, Y(X)) = t_0 + \frac{1}{V_{gr}} \cdot (\sqrt{X^2 + (A \cdot \sin(B \cdot X)^2} \quad (3)$$

Здесь и далее ΔX, ΔY – это расстояние между соседними пунктами возбуждения по осям абсцисс и ординат в декартовой системе координат.

Показатель непараллельности нагоняющих годографов ***(θ),*** обусловленный различными факторами и используемый в (1), есть производная функции разности нагоняющих годографов. Поэтому, θ_1 – показатель непараллельности, обусловленный криволинейным профилем, определяется так:

$$\theta_1 = \frac{d(\Delta t(X, Y(X)))}{dX} = \frac{1}{V_{gr}} \cdot [\frac{X - \Delta X + A^2 \cdot B \cdot \sin(B \cdot X) \cdot \cos(B \cdot X) - A \cdot B \cdot \Delta Y \cdot \cos(B \cdot X)}{\sqrt{(X - \Delta X)^2 + (A \cdot \sin(B \cdot X) - \Delta Y)^2}} - \frac{X + A^2 \cdot B \cdot \sin(B \cdot X) \cdot \cos(B \cdot X)}{\sqrt{X^2 + (A \cdot \sin(B \cdot X))^2}}] \quad (4)$$

В качестве V_{gr} примем среднее значение граничной скорости продольных преломленных волн, фиксируемых в первых вступлениях сейсмограмм, зарегистрированных на Центральном участке профиля 3-ДВ ($V_{gr} \approx 6$ км/с).

Непараллельность нагоняющих годографов головных волн из-за рельефа дневной поверхности. Каждый источник и сейсмоприемник характеризуются высотой *R(X)* над уровнем моря. Предположим, что латеральная зависимость *R(X)* имеет вид (5):

$$R(X) = C \cdot \sin(D \cdot X), \quad (5)$$

где *C* и *D* – параметры, определяющие форму рельефа местности. В этом случае, годограф головной волны *t(X)* можно описать выражением (7):

$$t(X) \approx \frac{2H}{V1 \cdot \cos i} + \frac{X}{V_{gr}} + \frac{R(X)}{V0}, \quad (6)$$

где *V0* – скорость волны в самой верхней части разреза. Предположим, что *V0*≈300 м/с. Процедура вычисления показателя непараллельности нагоняющих годографов аналогична описанной выше:

$$\theta_2 = \frac{d(\Delta t(X)}{dX} = \frac{C \cdot D}{V0} \cdot [\cos(D \cdot (X + L)) - \cos(D \cdot X)], \quad (7)$$

где *L* – расстояние между соседними пунктами возбуждения.

На рисунке 1а показан Фурье-спектр линии профиля *Y(X)*, а на рисунке 1б – Фурье-спектр линии рельефа дневной поверхности *R(X)*.

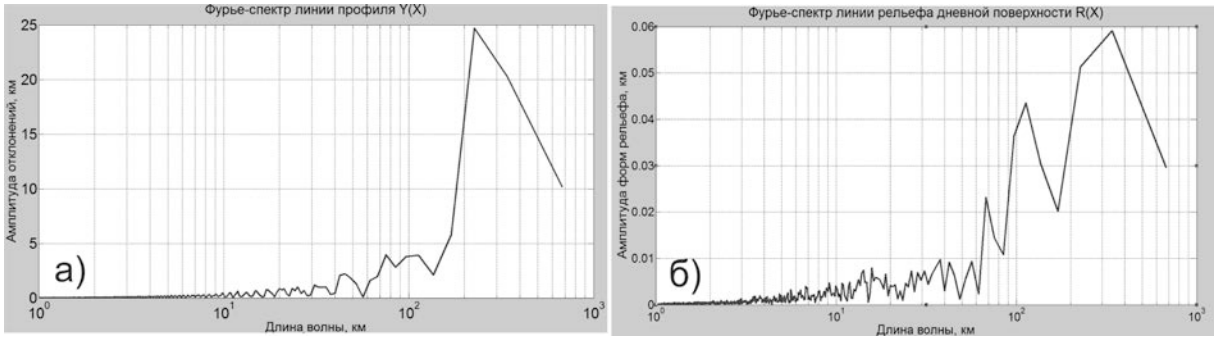


Рис. 1. Фурье-спектры а) линии профиля *Y(X);*
б) линии рельефа дневной поверхности *R(X)*

При исследованиях методом ОГТ на опорных профилях расстояние между источниками – 100 м, между сейсмоприемниками – 50 м, длина годографа – 10 км. С помощью (1, 4) вычислим модули АЧХ фильтров при значениях параметров кривизны *A* и *B*, наиболее типичных для Центрального участка профиля 3-ДВ. Частотный диапазон преломленных волн составляет в среднем по профилю 13-25 Гц. Результаты вычислений модулей АЧХ для типичных параметров линии Центрального участка профиля 3-ДВ приведены на рисунке 2а.

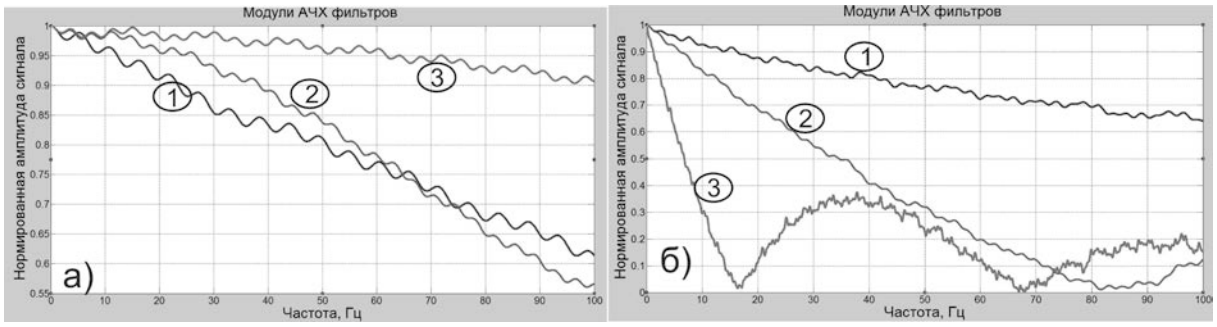


Рис. 2. Модули АЧХ фильтров, обусловленных а) влиянием кривизны Центрального участка профиля на результат динамического пересчета данных сверхглубинного ОГТ; б) влиянием кривизны абстрактной линии профиля на результат динамического пересчета данных сверхглубинного ОГТ

Линией, обозначенной цифрой **1** показаны абсолютные значения АЧХ фильтра, при значениях параметров *A*=50 м, *B*=100 м, *A/B*=0.5. Линией, обозначенной цифрой **2**, показан модуль АЧХ фильтра, при значениях параметров *A*=500 м, *B*=10 км, *A/B*=0.05. Линией **3** показан модуль АЧХ фильтра, при значениях параметров *A*=4 км, *B*=70 км, *A/B*=0.06. В целевом частотном диапазоне максимальные понижения амплитуд сигна-

лов головных волн в результате низкочастотной фильтрации, обусловленной криволинейным профилем, достигаются при значениях *A*=50 м, *B*=100 м. В зависимости от частоты, для пересчитанных сигналов они составляют 7-13%. Для других значений *A* и *B* понижение амплитуд не превышает 5% для полосы частот 13-25 Гц. Однако, при других геоморфологических условиях, при такой же системе наблюдения, возможны случаи (рис. 2б), когда понижения амплитуд сигналов головных волн более существенные. На рисунке 2б линией **1** показан модуль АЧХ фильтра, при значениях параметров *A*=*B*=50 м, A/B=1. В полосе частот 13-25 Гц, амплитуды компонент сигнала понижаются на 8-15%, что не очень критично для отношения сигнал/помеха. При значениях *A*=200 м, *B*=100 м, *A/B*=2 (кривая **2**) эффект низкочастотной фильтрации более значителен – в целевом диапазоне амплитуда уменьшается на 25-50%. При *A*=1000 м, *B*=100 м, *A/B*=10 (кривая **3**) кривизна профиля приводит к значительному (80%) подавлению амплитуд на целевых частотах, что приводит к низким значениям отношения сигнал/помеха для временных разрезов и сейсмограмм ОПВ, получаемых методом динамического пересчета преломленных волн.

Для оценки влияния рельефа дневной поверхности на результат пересчета, с использованием формул (1, 7) вычислим модули амплитудно-частотных характеристик фильтров при значениях параметров рельефа *C* и *D*, наиболее типичных для Центрального участка профиля 3-ДВ. Результаты вычислений показаны на рисунке 3а. Линия **1** – абсолютные значения АЧХ фильтра при *C*=10 м, *D*=9 км, линия **2** – то же при *C*=25 м, *D*=70 км, линия **3 –** при *C*=60 м, *D*=350 км. Рельеф дневной поверхности, на которой произведена расстановка регистрирующего оборудования на Центральном участке, не оказывает влияния на параллельность нагоняющих годографов – модули АЧХ во всей полосе частот принимают значения 1. На рисунке 3б показаны модули АЧХ фильтров, обусловленных непараллельными нагоняющими годографами вследствие более резких форм рельефа, чем те, которые характерны для местности Центрального участка. Кривая **1 –** модуль АЧХ фильтра при *C*=500 м, *D*=10 км. Кривая **2 –** при *C*=1000 м, *D*=10 км, линия **3 –** при *C*=1.5 км, *D*=5 км.

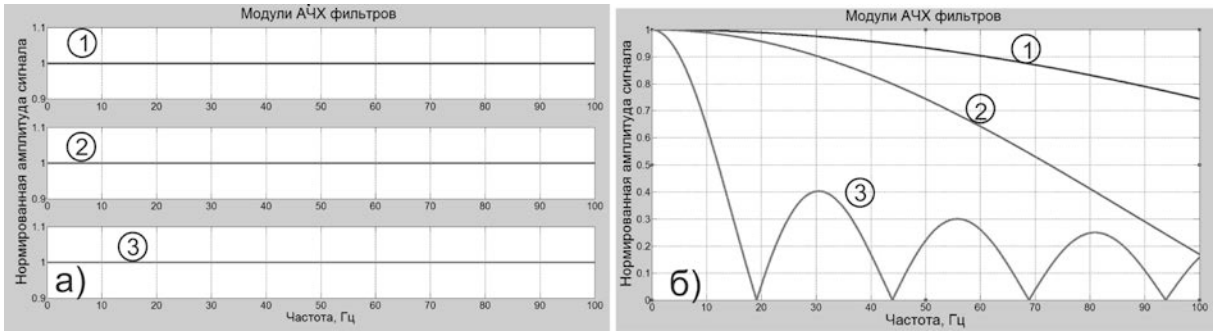


Рис. 3. Модули АЧХ фильтров, обусловленных а) влиянием рельефа дневной поверхности Центрального участка профиля 3-ДВ на результат динамического пересчета данных сверхглубинного ОГТ; б) влиянием рельефа абстрактной дневной поверхности на результат динамического пересчета данных сверхглубинного ОГТ

Понижение амплитуд в частотном диапазоне преломленных волн (13-25 Гц) в результате низкочастотной фильтрации, обусловленной влиянием рельефа, не превышает 10% при углах наклона форм рельефа, меньших 20º (кривые **1** и **2**). В то же время, влияние форм рельефа с очень крутыми углами наклона (35º и больше) существенно – для любой частотной компоненты в целевом частотном диапазоне снижение амплитуды превышает 60%, а на некоторых частотах происходит полное подавление сигнала (например, частота 19 Гц для кривой, обозначенной цифрой **3** на рис. 3б).

Заключение

В работе получены аналитические формулы, описывающие влияние рельефа дневной поверхности и извилистости линии профиля на алгоритм динамического пересчета головных волн. Показано, что кривизна и рельеф дневной поверхности линии Центрального участка профиля 3-ДВ не являются критическими факторами при обработке зарегистрированных по системе наблюдения сверхглубинного ОГТ данных головных волн методом динамического пересчета, однако, теоретически возможны более резкие формы рельефа и более извилистые линии профилей, при которых понижение амплитуд пересчитанных сигналов головных волн будет более значительным.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ МОЛ_ФА № 17-35-80026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еманов А.Ф Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки / А.Ф. Еманов, В.С. Селезнев, Н.А. Коршик // Геология и геофизика. 2008. т. 49, № 10. С. 1031-1045.
2. Крылов С.В. Свойства головных волн и новые возможности автоматизации их обработки / С.В. Крылов, В.Н. Сергеев // Геология и геофизика. 1985. №4. С. 92-102.
3. Полянский П.О. Применение метода динамического пересчета головных волн на Центральном участке профиля 3-ДВ (Республика Якутия) для изучения преломляющих границ верхней части земной коры / П.О. Полянский, А.С. Сальников, А.Ф. Еманов // Материалы научно-практической конференции “Интерэкспо Гео-Сибирь”. 2016. Т.2, №1. С. 210-215.
4. Полянский П.О. Временные разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-восточный участок) / П.О. Полянский [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2016. №2. С. 86-95.
5. Сергеев В.Н. Учет геометрического расхождения и рефракции при пересчете поля колебаний преломленных волн / В.Н. Сергеев // Геология и геофизика. 1988. №3. С. 93-102.

METHODOLOGICAL FEATURES OF HEAD WAVES DYNAMIC CONVERSION ON REFERENCE GEOPHYSICAL PROFILES

Pavel O. Polyansky
ASB FRC UGS RAS, Novosibirsk
PPavel6.10@gmail.com

Abstract. Questions, related to influence of profile line and relief curvature on result of dynamic head waves conversion, are considered in the article. It is proved that curvature and relief influence on conversion result like low-frequency filters. Conditions in the Central part of the 3-DV profile are shown to have slight influence on dynamic conversion of CMP data: decrease in head wave amplitudes does not exceed 13% in the frequency range from 13 to 25 Hz. Also, it is shown in which geomorphological conditions influence of relief and curvature of profile leads to significant loss in precision of dynamic conversion method.

Key words: Reference geophysical profile 3-DV, head waves, time section, digital processing of seismic data

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.837.76, 551.2.08

ОЦЕНКА КРУПНОСТИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Родионов Александр Игоревич
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск
fabian4695@gmail.com

Аннотация. В работе приводятся результаты лабораторного эксперимента по моделированию толщи песчано-гравийной смеси, различного количественного состава гравийной компоненты, с использованием метода георадиолокации. Дается анализ и первичная интерпретация радарограмм, демонстрируется изменение амплитуды сигнала в зависимости от плотности валунного материала в исследуемой толще.
Ключевые слова: физическое моделирование, георадиолокация, песок, ПГС, эксперимент

Метод георадиолокации является современным методом малоглубинной геофизики. Георадиолокационные данные позволяют решать широкий спектр задач при различных геологических, археологических и инженерных изысканиях [3]. Принцип работы метода основан на излучении коротких электромагнитных импульсов, с последующей регистрацией отраженной волны от контрастных по электрическим свойствам объектов [1]. Из-за влияния неоднородностей геологической среды на распространение электромагнитного сигнала целесообразно выполнять математическое и физическое моделирование для выявления оптимальных параметров обработки регистрируемых данных. В статье [5] докладываются результаты эксперимента, связанного с моделированием толщи, сложенной из неперемешанных между собой валунов и песка. Также перспективным является направление по изучению влияния формы и размера зерен слагающих толщу дисперсных грунтов на распространение электромагнитных волн в среде [4, 7].

Основными средствами исследования месторождений песка и ПГС являются шнековое бурение и шурфовое опробование толщи. При сравнительно высоких трудозатратах, информации, полученной с использованием данных методов, бывает недостаточно для детального описания месторождения. Этот факт является поводом для внедрения новых методов, таких как георадиолокация, эффективность которой при решение таких задач доказана [2, 6]. Ввиду неоднородного строения несортированного каменно-валунного и галечного материала, данные получаемые после обработки могут быть проинтерпретированы неоднозначно. Исследование, описанное ниже, ставило перед собой цель определить, позволяет ли метод георадиолокации получать информацию о процентном содержании элементов горных пород и гравия в толще песка.

Измерительной ячейкой, использованной в эксперименте, являлся пластиковый бак габаритами 1300×500×400 мм. Он был наполнен песком среднезернистой фракции (ГОСТ 8736-93), кварц-плагиоклазового состава, мощность песка составляла 300 мм. В центральной части бака было сделано углубление размером 500×500×300 мм. После чего в углубление проводилась закладка валунов, преимущественно гранитных (минеральный состав, близкий к вмещающей песчаной толще). В результате было получено две модели. Модель №1 с размером валунов от 8 до 10 см и модель №2 с валунами размером от 3 до 5 см. Каменный материал укладывался упорядочено, в несколько слоев (между слоями находился песок определенной мощности) через фиксированное рассто-

яние (от 5 до 10 см). Измерения осуществлялись георадаром ОКО-2, оснащенным антенным блоком АБ-1700, центральной частотой излучающей антенны 1700 МГц, и разрешением 0.03 м. Данные собирались и обрабатывались в программном обеспечении GeoScan-32. Наряду с этим, при помощи электроразведочного генератора SGD-EGC "SKAT" и измерителя SGD-EET "MEDUSA", производились измерения кажущегося удельного электрического сопротивления (КУЭС). Также с помощью влагомера были составлены профили влажности, пересекающие всю модель.

На рисунке изображена радарограмма, полученная в результате измерения модели, с расстоянием между валунами 10 см (рис. 1А). Для толщи была установлена диэлектрическая проницаемость, составившая 7.1 единиц СИ. Граница 1 – локализует основание бака, линии 2 отображают пространственное расположение закладки (Пк40-90). Область 3, выделяет зону наибольшей концентрации валунов (2 слоя), в районе 65 и 85 пикетов. Наблюдаются локальные нарушения осей синфазности, соотносимые с точечным расположением гравия. На радарограмме зафиксировано отсутствие гипербол, наличие которых указывает на образование дифрагированной волны. Данный факт обосновывается схожим минералогическим составом гравия и вмещающей породы (песка). Это приводит к близким значениям диэлектрической проницаемости, чей контраст влияет на образование дифрагированной волны на границе сред.

На рисунке демонстрируется радарограмма по модели №2 (рис. 1В). Физические параметры, которые повторяют данные модели №1, а именно КУЭС 1950 Ом·м, влажность толщи около 25%, с локальными максимумами в районе концентрации гравия, значение диэлектрической проницаемости 7.1 единиц СИ. Область 3 модели №2 характеризуется хорошо различимыми нарушениями осей синфазности. Кроме того, отмечается смена характера волнового поля в сторону хаотичного. Форма амплитудной аномалии (рис. 2), повторяет картину предыдущего варианта эксперимента, но с увеличением пикового значения интенсивности на 200 условных единиц.

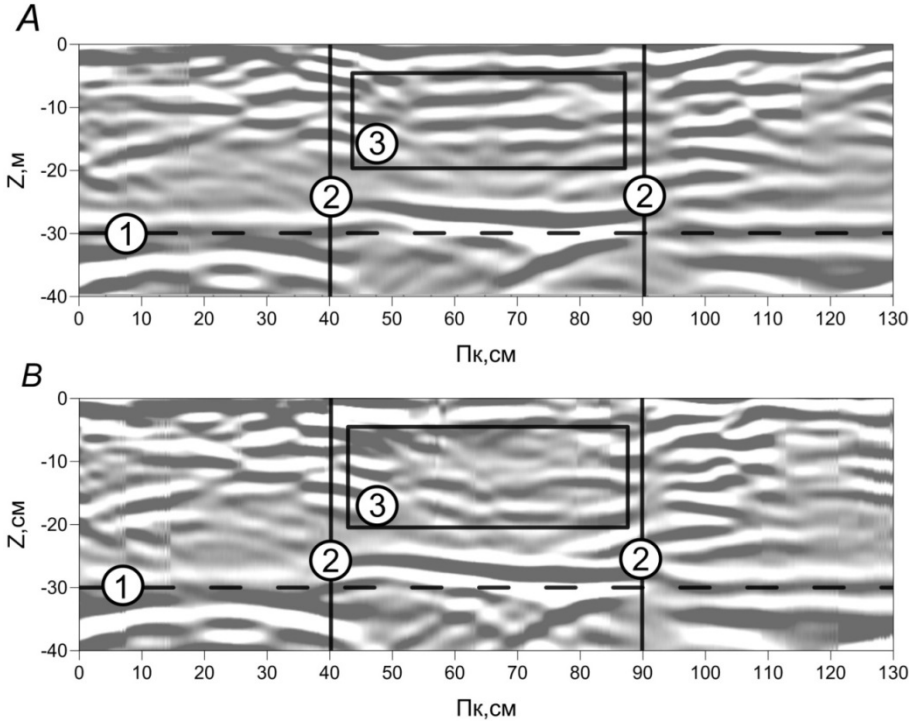


Рис. 1. Радарограммы, полученные в результате физического моделирования.
А. Радарограмма модели №2 с расстоянием между валунами 10 см
В. Радарограмма модель №1 с расстоянием между валунами 5 см
1 – Нижняя граница бака; 2 – Границы области заложения гравия;
3 – Область наибольшей концентрации гравийной материала.

С помощью преобразования Гильберта получена энергограмма профиля, из которой, с глубины 10 см, выделен график распределения амплитуд (рис. 2). Видно, что зона локализации гравийной закладки соответствует пиковому максимуму амплитуд. Также было выполнено измерение КУЭС, которое составило порядка 1900 Ом·м. При измерении профиля влажности было установлено, что фоновое значение увлажненности толщи в среднем составляет 24%. В зоне заложения гравия влажность увеличивается до 35% в зоне заложения гравия. Это можно объяснить возможной сорбцией влаги на поверхности валунов.

В результате выполненного эксперимента установлено, что на основе данных георадиолокации возможно производить первичное выделение зон повышенной концентрации крупных частиц. Даже при близком минеральном составе гравия и вмещающей толщи, а также при отсутствии дифрагированных волн, выделяются амплитудные аномалии, имеющие выдержанную форму и отличающиеся по величине в зависимости от концентрации валунов.

В данный момент идет продолжение эксперимента, с использованием контрастных по электрическим свойствам горных пород и минералов.

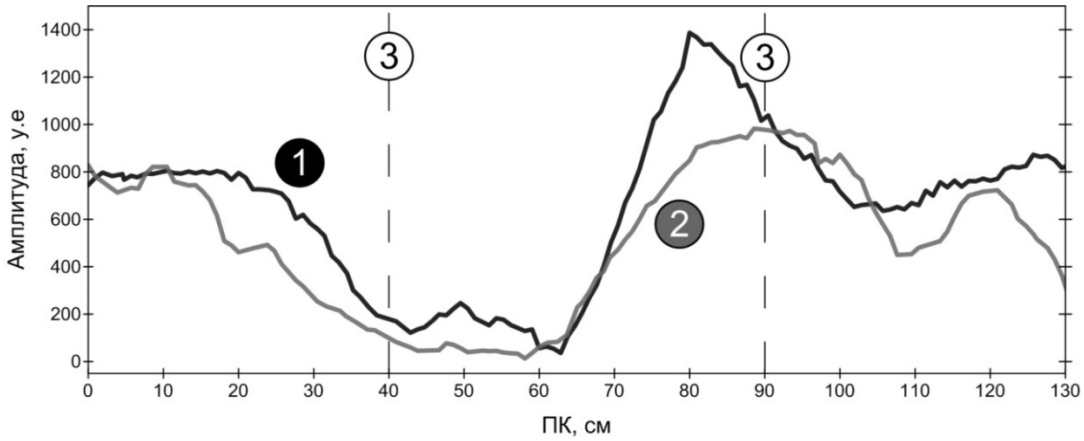


Рис. 2. Профиль изменения амплитуды сигнала на глубине 10 см
1 – Изменение амплитуды сигнала модели №2;
2 – Изменение амплитуды сигнала модели №1;
3 – Границы области заложения гравия

Работы были выполнены при поддержке проекта РФФИ № 16-35-00114\16 «Геоэлектрическое моделирование многокомпонентных геологических систем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
2. Глазунов В.В. Георадиолокационное зондирование при поисках и разведке месторождений песка / В.В. Глазунов, Н.Н. Ефимова // Разведка и охрана недр. 2001. № 3. С. 42-44.
3. Daniels D.J. Ground penetrating radar / D.J. Daniels. Cornwall: MPG Books Limited. 2004. – 722 p.
4. Guillemoteau J. Influence of grain size, shape and compaction on georadar waves: example of an Aeolian dune / J. Guillemoteau, M. Bano, J.R. Dujardin // Geophysical Journal International. Oxford University Press. 2012. V.190. P. 1455–1463.

5. Liu L. Radar wave scattering loss in a densely packed discrete random medium: numerical modeling of a box-of-boulders experiment in the Mie regime / L. Liu [et al.] // Journal of Applied Geophysics. 2013. V. 99. P. 68-75.
6. Lucius J.E. An Introduction to using surface geophysics to characterize sand and gravel deposits / J.E. Lucius, W.H. Langer, K.J. Ellefsen. Reston: U.S. Geological Survey. 2006. – 51 p.
7. Zanzi L. Sensitivity and accuracy in rebar diameter measurements from dual-polarized GPR data / L. Zanzi, D. Arosio // Construction and Building Materials. 2013. V. 48. P. 1293–1301.

EVALUATION OF SAND GRAVEL MIX COARSENESS BY GPR

Alexander I. Rodionov
IG KarRS RAS, Petrozavodsk
fabian4695@gmail.com

Abstract. Laboratory experiment results for modeling sand gravel mass with different quantitative composition of gravel component, using GPR method, are presented in the paper. Analysis and primary translation of radargrams, changes in signal amplitude, depending on gravel density in mass under study are provided.
Key words: analog modeling, GPR, sand, sand gravel mix, experiment

УДК 550.837

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Рязанцев Павел Александрович
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск
chthonian@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблематика определения загрязнений геологической среды методами электроразведочной геофизики. Исследуются параметры нефтепродуктов для их определения в электрических полях. Показаны некоторые поисковые критерии таких объектов. Приводятся результаты натурного эксперимента по обнаружению миграции машинного масла методом электротомографии на постоянном токе.
Ключевые слова: загрязнение нефтепродуктами, электроразведка, удельное электрическое сопротивление, лабораторный эксперимент, геоэлектрическая модель

Значительную опасность для живой природы, в том числе и человека, представляют нефть и продукты ее переработки [3]. Можно выделить значительное количество техногенных объектов, с которыми связано попадание нефтепродуктов в геологическую среду. К ним относятся структуры нефтедобывающего комплекса, такие как резервуары и нефтепроводы, а также автозаправочные станции, мазутохранилища тепловой энергетики, производственные склады. Процесс ликвидации образовавшихся загрязнений выполняется тремя основными способами: отсыпкой свежим грунтом, изъятием зараженных пород и микробиологической деструкцией [3, 4]. Как отмечается в [4] во всех случаях крайне важна локализация области загрязнения.

Перспективным способом дистанционной оценки территорий, подвергнутых загрязнению нефтепродуктами, определению зон их наибольшей концентрации и мониторинга миграции являются геофизические методы, главным образом, электроразведка [2, 12]. Применение электроразведочной геофизики обусловлено тем, что нефтепродукты контрастно выделяются при контаминации в дисперсных грунтах по уровню удельного электрического сопротивления (УЭС) [11], показателям вызванной поляризации [5] и диэлектрической проницаемости [10].

С развитием технических средств малоглубинные методы электроразведки вышли на новый качественный уровень. В частности, современной модификацией метода сопротивлений на постоянном токе является электротомография. Для электротомографии используется специальная система сбора и обработки данных, заключающаяся в создании единого массива значений УЭС изучаемых пород с последующим подбором геоэлектрической модели [1]. Получаемые наблюдения имеют высокую плотность, что позволяет построить детальный геоэлектрический разрез изучаемой геологической среды. Существует ряд научных публикаций, где показана высокая эффективность электротомографии для локализации загрязненных областей на различных техногенных объектах [8, 9].

В работе, на основе лабораторного моделирования, показаны возможности электротомографии для выполнения мониторинга миграции нефтепродуктов. При этом, решались следующие задачи: изучалось изменение УЭС дисперсного грунта разной влажности при насыщении нефтепродуктами; определялись параметры сбора и обработки данных; выполнялось геоэлектрическое моделирование; проводилась интерпретация результатов. Следует отметить, что в рамках проводимого исследования использовался неизменный нефтепродукт, который является диэлектриком, тогда как процессы разложения приводят к резкому уменьшению значений УЭС [7].

Для выполнения эксперимента была изготовлена измерительная ячейка – пластиковый бак, имеющий размеры 2000x700x600 мм. В нем была смоделирована простейшая геологическая ситуация. Через мелкозернистый песок происходит фильтрация воды под действием гравитационных сил, в качестве водоупора выступает глинистый слой мощностью 100 мм, с наклоном 20°. В баке отмечен профиль наблюдения длинной 1500 мм, в пределах которого на расстоянии 250 мм от первого пикета (ПК) сделана инъекция нефтепродукта (машинное масло). Изучение модельной среды выполнялось методикой электротомографии с аппаратурой СКАЛА-48М. Сбор данных осуществлялся симметричной электроразведочной установкой A-M-N-B. Шаг по профилю составлял 50 мм. После процесса наблюдений формировался единый массив, включающий УЭС четырех циклов измерений, по 204 значения в каждом. Далее выполнялась *time-lapse* (покадровая) инверсия. При использовании такой техники обработки каждая модель (кадр) рассчитывается с учетом соседних моделей.

Урбанизированные территории относятся к сложным для применения малоглубинных методов электроразведки районам. Это связано с наличием большого количества локальных и линейных техногенных объектов, которые выступают в качестве приповерхностных неоднородностей (ППН). В методе электроразведки на постоянном токе влияние ППН зачастую во много раз сильнее влияния глубинных неоднородностей, являющихся целью поиска [6]. Для оценки искажений, привносимых ППН, в лабораторном баке была смоделирована ситуация, когда в исследуемом разрезе перпендикулярно профилю наблюдения присутствуют: пластиковая полая внутри труба диаметром d=50 мм; металлическая рейка сечением 15×25 мм; пара стандартных кирпичей размером 70×120 мм.

На рисунке показан набор геоэлектрических моделей, полученных в экспериментальных условиях (рис. 1). В начальный момент времени (0 ч) первичная инъекция

нефтепродукта на ПК 0.25 проявляется относительно слабо (УЭС=1200 Ом·м). Что же касается ППН, то труба уверенно проявляется на ПК 0.4 повышенным значением УЭС=1500 Ом·м, а проводник и кирпичный барьер однозначно себя не проявили. В области их локализации между ПК 0.7–1 формируется протяженная аномалия УЭС=1200 Ом·м, которая, вероятно, является следствием влияния ППН.

По мере увеличения времени нахождения нефтепродукта в грунте контрастность его УЭС начинает возрастать. На второй модели (24 ч) оно равняется 1800 Ом·м, на третьей (48 ч) 3000 Ом·м, а на заключительной (72 ч) в среднем 3600 Ом·м. Отмечается, что амплитуда аномалий увеличивается не только на месте впрыска загрязнителя, но и в области расположения пластиковой трубы (интервал ПК 0.2-0.5). Это позволяет предположить, что локальные объекты могут выступать в качестве концентраторов нефтепродуктов при их массопереносе в дисперсном грунте под действием воды.

Также интересно изменение поля УЭС в районе расположения кирпичного барьера (ПК 1–1.07). Как уже отмечалось, на первой модели (0 ч) он себя не проявил. Однако, при прошествии определенного временного периода наблюдается, как повышается УЭС вышележащей части грунта с 700 до 1500 Ом·м, а УЭС области за барьером остается равной 400 Ом·м. На ПК 0.9 наблюдается концентрация загрязнителя верхним углом кирпича, как и в случае пластиковой трубы. Отсюда следует, что отдельные линейные объекты могут предотвращать миграцию нефтепродуктов, и этот эффект уверенно фиксируется геоэлектрическими наблюдениями.

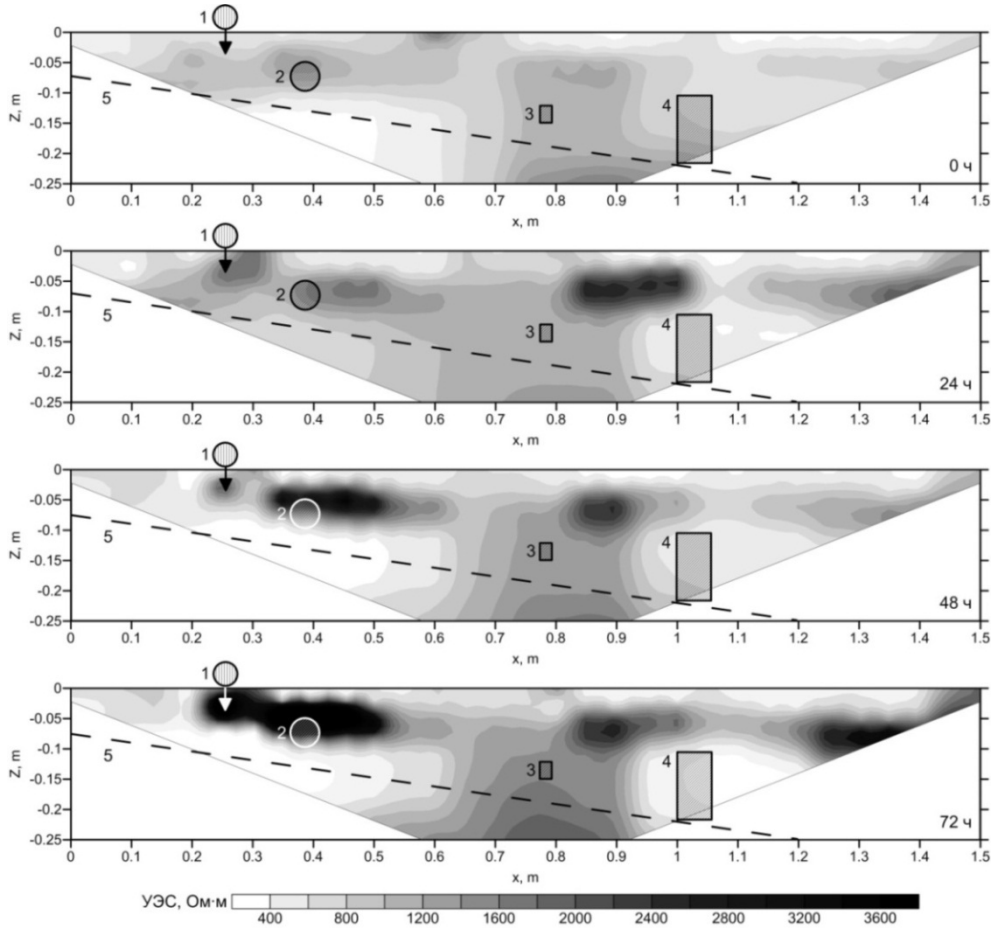


Рис. 1. Геоэлектрический мониторинг миграции нефтепродукта в песке с техногенными локальными неоднородностями: 1 – место начальной инъекции нефтепродукта; 2 – положение пластиковой трубы; 3 – положение металлической рейки; 4 – положение кирпичного барьера; 5 – глиняный водоупор

На основе выполненного лабораторного эксперимента доказано, что методика электротомографии может успешно применяться для локализации в дисперсных грунтах неизмененных нефтепродуктов и мониторинга их миграции. Использование покадровой инверсии данных обеспечило создание гладких моделей, четко отражающих последовательное изменение УЭС и позволяющих провести мониторинг геологической среды во времени и пространстве. Было установлено, что при наличии техногенных помех, которые выступали в качестве ППН, предлагаемый подход сохраняет свою информативность, однако возрастает ошибка измерений и усложняется процесс интерпретации геоэлектрических моделей. Результаты работ позволяют сделать вывод, что электротомографии может дополнить существующие способы контроля нефтяного загрязнения окружающей среды, повысив общую эффективность за счет оптимизации процесса оконтуривания зараженных областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации / А.А. Бобачев [и др.] // Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. №2. С. 14–17.
2. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Ред. В.А. Шевнин, И.Н. Модин. М.: РУССО, 1999. – 511 с.
3. Давыдова С.Л. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: Учеб. Пособие / С.Л. Давыдова, В.И. Тарасов. М.: Изд-во РУДН, 2004. – 163 с.
4. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Справочник. М.: РЭФИА, НИА-Природа, 2003. – 258 с.
5. Титов К.В. Изменение физических свойств загрязненного нефтепродуктами песка при бактериальном воздействии / К.В. Титов [и др.] // Геоэкология. 2012. №5. С. 455–469.
6. Электроразведка методом сопротивлений. / Отв. ред. В.К. Хмелевской, В.А. Шевнин. М.: Изд-во МГУ, 1994. – 160 с.
7. Atekwana E.A. Geophysical Signatures of Microbial Activity at Hydrocarbon Contaminated Sites: A Review / E.A. Atekwana, E.A. Atekwana // Surveys in Geophysics. 2010. V. 31. P.247–283.
8. Clément R. Improvement of electrical resistivity tomography for leachate injection monitoring / R. Clément [et al.] // Waste Management. 2010. V. 30. P. 452–464.
9. Genelle F. Monitoring landfill cover by electrical resistivity tomography on an experimental site / F. Genelle [et al.] // Engineering Geology. 2012. V. 145–146. P. 18-29.
10. Ground penetrating radar: Theory and Applications / Ed. H.M. Jol, 2009. Oxford. – 508 p.
11. Shevnin V. Estimation of soil petrophysical parameters from resistivity data: Application to oil-contaminated site characterization / V. Shevnin [et al.] // Geofisica Internacional. 2006. V. 45. №3. P.179–193.
12. Vaudelet P. Mapping of contaminant plumes with geoelectrical methods. A case study in urban context / P. Vaudelet [et al.] // Journal of Applied Geophysics. 2011. V. 75. P.738-751.

GEOELECTRICAL SURVEY FOR INVESTIGATION OF OIL PRODUCT POLLUTION

Pavel A. Ryazantsev
IG KarRS RAS, Petrozavodsk
chthonian@yandex.ru

Abstract. This paper examines problem of geologic environment contamination analysis using geoelectrical survey methods. Oil products characters are investigated for their determination in electric fields. Some search criteria of such objects are given. Real experiment results to detect engine oil migration using ERI are presented.
Key words: oil pollution, electric exploration, resistivity, laboratory experiment, geoelectrical model

УДК550.34

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПОДВИЖКИ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ

Саакян Бабкен Вазгенович, Оганнисян Айкуи Левоновна
Мурадян Айцемик Размиковна
ИГИС НАН РА, г. Гюмри, Армения
sahakyan_babken@mail.ru
haykuhi.mkrtchyan.1987@mail.ru, aicem@mail.ru

Аннотация. В результате сопоставительного анализа основных параметров фокальных механизмов (ФМ) землетрясений и данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), осуществленного по известному профилю, с помощью количественной оценки тензорных компонентов скоростей относительных сейсмотектонических деформаций, были выявлены региональные и локальные напряженные поля земной коры Северной Армении, имеющие сложную блоковую структуру. В выделенных блоках были определены сейсмотектонические подвижки и средние механизмы очагов.
Ключевые слова: очаг, фокальный механизм, напряженное поле, тензор деформации, глубинное сейсмическое зондирование, геологическая среда

Согласно современным представлениям, земная кора является автономной динамической системой с концентрической оболочкой, взаимодействующей как с ее структурными элементами, так и с нижним слоем. Такая ситуация доказывает слоистое строение земной коры. Комплексные геолого-геофизические и сейсмологические исследования, которые направлены на выявление физико-механических и реологических особенностей реальной геологической среды, в основном обусловлены наличием неоднородного поля скоростей, которые выделены глубинным сейсмическим зондированием (ГСЗ) [4]. Отражение непрерывных напряженно-деформационных процессов, происходящих в этих неоднородных полях скоростей, на поверхности земли проявляется дискретным числом сейсмических событий. По сути, характер коровых землетрясений в основном обусловлен глубинным и пространственным распределением регионально-

го и локального полей района исследования [6]. В работе поставлена задача – определить напряженное состояние данной местности и оценить численное значение деформаций, используя сопоставительный анализ параметров фокальных механизмов (ФМ) сейсмических событий и данных ГСЗ, осуществленных известными профилями. Такие исследования особенно актуальны для северо-западной части Малого Кавказа, известной богатой летописью сейсмических событий. Эта территория охватывает северо-западную часть Армении и примыкающую к ней сейсмоактивную область Джавахетского нагорья [7].

В работах [1, 7] показано, что на исследуемой территории эпицентры землетрясений имеют очень неравномерное, хаотичное распределение. В тектонических картах зоны ВОЗ охватывают как одну, так и две и более структурные единицы. Такими единицами являются геолого-тектонические элементы разных порядков и иерархических масштабов (активные глубинные разломы, разрывные нарушения). Учитывая блоковое сложное строение исследуемой местности, раздробленное активными глубинными разломами разных порядков [1], рассеянное распределение эпицентров землетрясений нельзя однозначно связать с теми или иными известными геологическими элементами. В таких случаях, сейсмические процессы описываются объемными деформациями [5, 9].

С целью изучения объемных сейсмотектонических деформаций Ризниченко разработал так называемое понятие «сейсмического течения» горных масс [5]. В основе этой методики, с применением тензорного анализа сейсмического момента, поставлены теоретические идеи оценки количественных значений вертикальных компонентов относительных сейсмотектонических деформаций, приведенных в (1):

$$\dot{\varepsilon}_{ik} = \frac{1}{2VT\mu} \sum_{j=1}^{N} (M_{0ik})_j \quad , \qquad (1)$$

где V=f(S,H) – объем среды, выраженный произведением площади S исследуемой территории и мощностью H сейсмогенного слоя, T – наблюдаемый период, $(M_{0ik})_j$ – величина сейсмического момента каждого землетрясения, попадающего в наблюдаемое пространственно-временное окно, $\mu = 3 \cdot 10^{11}$ дин $\cdot$ см$^{-2}$ – модуль сдвига.

Вышеприведенное выражение полностью удовлетворяет решению задачи, поскольку, из большого количества сейсмических событий, собранных для изучаемой территории, было возможно систематизировать и классифицировать более чем 150 землетрясений, имеющих повышенную точность определения основных и очаговых параметров [8]. Пространственное распределение этих очагов показывает, что, с точки зрения однородности и представительности ФМ [9], сейсмостатистический анализ можно проводить только в 4-х блоках. Результат анализа этого распределения показывает, что на исследуемой территории наблюдается общая тенденция главных осей растягивающих и сжимающих сейсмотектонических напряжений, соответствующих субширотным и субмеридиональным направлениям [1, 8]. Вместе с тем, в выделяемых блоках наблюдаются некоторые отклонения от характерных показателей. Количественные оценки азимутальной ориентации и углов падения главных осей сжимающих и растягивающих напряжений с геолого-тектоническими интерпретациями более детально изложены в работе [6].

При использовании вышеприведенной методики совместно со статистическими распределениями, были оценены количественные значения тензорных составляющих скоростей относительных сейсмотектонических деформаций (табл. 1).

Анализ рассчитанных деформаций показывает, что, несмотря на малый географический размер исследуемой территории (рис. 1), в смежных блоках наблюдаются

значения деформаций, отличающиеся друг от друга на один или два порядка. Это говорит о сильной раздробленности исследуемой территории и о наличии большого количества сейсмических событий [2, 6].

Таблица 1

Значение количественные величины тензорных составляющих скоростей относительных сейсмотектонических деформаций в блоках

№ - номер блока	Скорости $\dot{\varepsilon}_{ik}$ относительных сейсмотектонических деформаций (год$^{-1}$)						
	Единичные значения и порядки	Тензорные составляющие					
		$\dot{\varepsilon}_{11}$	$\dot{\varepsilon}_{22}$	$\dot{\varepsilon}_{33}$	$\dot{\varepsilon}_{12}=\dot{\varepsilon}_{21}$	$\dot{\varepsilon}_{23}=\dot{\varepsilon}_{32}$	$\dot{\varepsilon}_{13}=\dot{\varepsilon}_{31}$
I	9.84E-9	-0.13	0.13	0.00	-0.25	-0.89	0.42
II	1.02E-7	0.09	0.25	-0.34	-0.33	1.32	0.07
III	4.59E-8	0.07	-0.07	0.00	0.09	0.72	0.41
IV	6.72E-8	0.12	-0.65	0.53	-0.44	-1.04	0.48

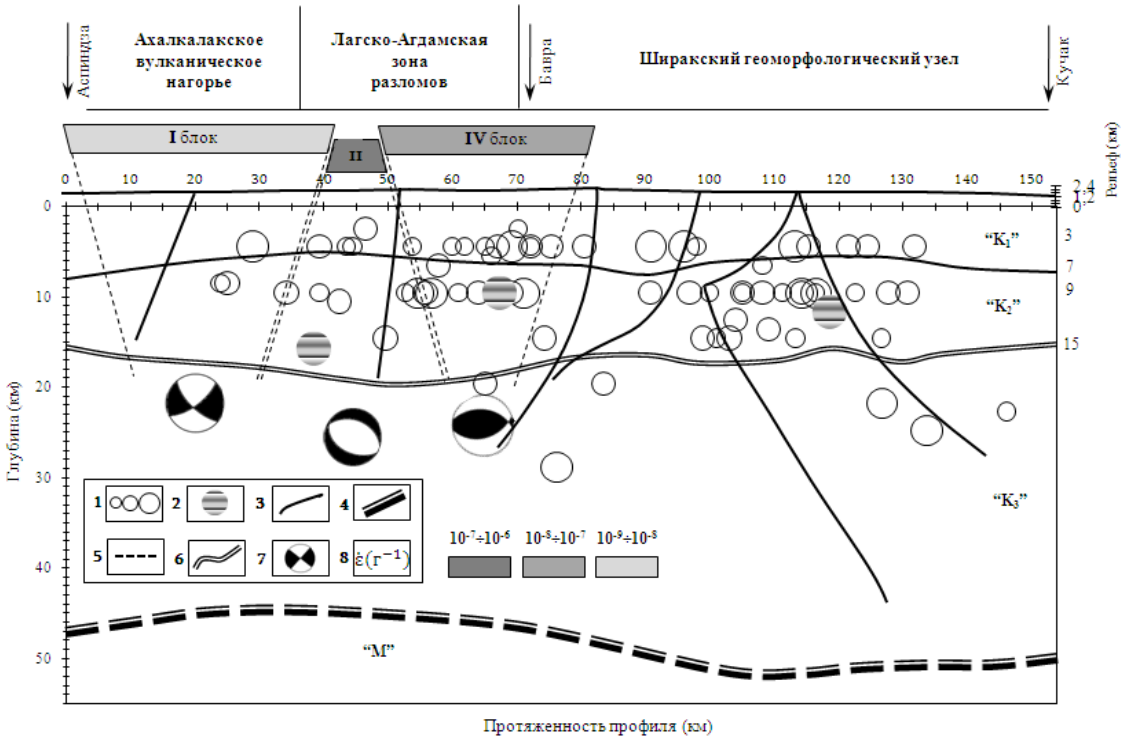


Рис. 1. Распределение гипоцентров землетрясений и относительных сейсмотектонических деформаций на профиле Аспиндза-Бавра-Кучак и средние механизмы очагов в блоках. 1 – гипоцентры землетрясений разных энергетических классов 7≤K<13; 2 – очаги землетрясений M_S≥5; 3 – активные глубинные разломы; 4 – граница Мохоровичича(M); 5 – границы блоков; 6 – сейсмические границы(K_1, K_2, K_3) по данным ГСЗ; 7 – средний механизм блока; 8 – количественные оценки сейсмотектонических деформаций

Особый интерес представляет задача по выявлению глубинного строения земной коры. Для ее решения, в качестве исходных данных были взяты все сейсмостатистические материалы и данные ГСЗ геологического разреза на участке Аспиндза-Бавра-Кучак, предварительно выбранного профиля Аспиндза-Армаш. По географической по-

зиции профиля, он имеет Кавказскую протяженность и распространяется с северо-запада к юго-востоку, охватывая такие геолого-тектонические структуры, как Ахалкалакское вулканическое нагорье, Лагско-Агдамская разломная зона и Ширакский геоморфологический узел [1, 4]. Условное разделение земной коры изучаемого региона по слоям различными мощностями было осуществлено на основе анализа встречных годографов и разнотипных (преломленных, отраженных, дифрагированных) сейсмических волн. Согласно распределению поля скоростей, были выделены три скоростных слоя: верхний – 5.5÷6.4 км/с, промежуточный – 6.4÷7.1 км/с, нижний – 6.8÷7.4 км/с [7], которые соответствуют осадочно(K_1)-гранитно(K_2)-базальтовой(K_3) трехслойной структуре геологической среды. Для выявления существующих связей между напряженно-деформированным полем и глубинной структурой земной коры были выбраны те сейсмические события, которые имеют достаточную точность глубинного залегания $\Delta h=\pm 2$ км, расположенные от профиля, соответственно, в левую или правую сторону на расстоянии 30÷40 км. Принимая во внимание гетерогенную структуру изучаемого региона, на расстоянии от профиля не более ±30 км, среда считалась однородной, и очаги предварительно выбранных землетрясений были спроектированы вдоль профиля (рис. 1). На изображенном разрезе явно выделяются два сейсмогенных слоя [3, 6] мощностью 3÷7 км и 9÷15 км, которые и являются источниками локальных и региональных напряженных полей.

Региональное напряженно-деформированное состояние изучаемого региона в основном обусловлено наличием сеймогенного слоя мощностью H=9÷15 км, расположенного в промежуточном слое, где и сосредоточены очаги сильнейших ($M_s\geq 5$) землетрясений изучаемого региона (Дманис – 1978, Параван – 1986, Спитак – 1988). Локальное напряженное поле, которое расположено в вышележащем слое мощностью H=3÷7 км, представляет собой динамические поля накопления и высвобождения напряжений. В этом локальном поле, перераспределение деформационных процессов и разрядка разнотипных аномальных проявлений сейсмических событий (рои землетрясений, группирующие сейсмические события, форшоки, афтершоки), по всей вероятности связаны со степенью прочности лавовых покрытий, которые являются структурным элементом геологической среды. Кроме того, для обнаружения характерных особенностей и закономерностей структур гипоцентрального распределения по всей территории, были построены графики распределения суммарной высвобожденной сейсмической энергии ∑E Дж и количество N очагов землетрясений по глубине залегания в земной коре (рис. 2).

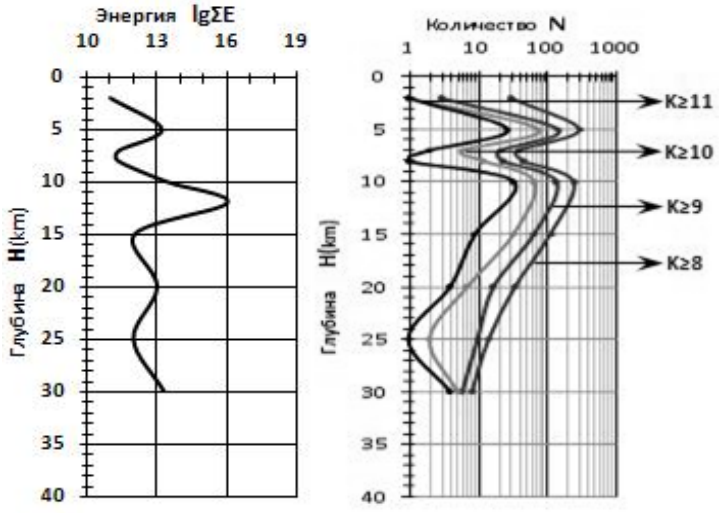


Рис. 2. График распределения суммарной высвобожденной сейсмической энергии (а) и количества очагов землетрясений (б) по глубине залегания в земной коре

Распределение очагов землетрясений по глубине представлено четырьмя кривыми, соответствующими изменениям уровня энергетических классов с K≥8, K≥9, K≥10, K≥11. На всех кривых (рис. 2б) наблюдаются два ярко выраженных максимума, соответствующих глубинам 5 км и 10 км. Они, по всей вероятности, подтверждают наличие в земной коре исследуемой территории двух «сейсмогенных слоев».

График высвобожденной суммарной сейсмической энергии имеет более сложный вид, по сравнению с кривыми распределения количества землетрясений с глубиной. В основном высвобожденная суммарная сейсмическая энергия сконцентрирована на глубинах H=9÷15 км, представляющих собой региональное поле сейсмотектонических напряжений. Следует отметить, что в земной коре Кавказа наличие двух «сейсмогенных слоев» характерно только исследуемой территории. В многочисленных аналогичных исследованиях по территории Кавказа в целом и отдельных ее сейсмоактивных участках такое явления не наблюдается [3, 7].

В результате вышеприведенных совместных анализов, приходим к заключению, что изучаемая территория представляет собой геолого-тектонический сложный узел, составляющий единую совокупность сейсмических событий. В выделяемых блоках под воздействием региональных и локальных напряженных полей, количественные оценки тензорных составляющих скоростей относительных сейсмотектонических деформаций, отображают нынешнее состояние современных движений земной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодакян Э.Г. Сейсмогеодинамические процессы на территории Северной Армении / Э.Г. Геодакян, Б.В. Саакян // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы девятой международной сейсмологической школы, Республика Армения, 8-12 сентября 2014 г. Обнинск, 2014. С. 122-126.
2. Геодакян Э.Г. Оценка напряженно-деформационного состояния земной коры Армении по сейсмологическим данным. / Э.Г. Геодакян [и др.] // Труды VIII Международной конференции «Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред», сентябрь 22-26, 2014, Горис-Степанакерт. Ереван, 2014. С. 158-161.
3. Мурусидзе Г.Я. Строение земной коры и верхней мантии в Грузии и сопредельных районах по сейсмологическим и сейсморазведочным данным / Г.Я. Мурусидзе. Тбилиси: изд. «Мецниереба», 1976. С. 169.
4. Научно-технический отчет по теме: «Геолого-геофизические условия очаговой зоны Спитакского землетрясения 1988 г. МГ СССР, НПО» // Нефтегеофизика. М., Армгеофонд, 1990. 109 с.
5. Ризниченко Ю.В. Избранные труды / Ю.В. Ризниченко // Проблемы сейсмологии. М.: «Наука», 1985. 405 с.
6. Саакян Б.В. Глубинное строение и напряженно-деформационное состояние земной коры Северной Армении / Б.В. Саакян, А.Р. Мурадян, А.Л. Оганесян // IV Всероссийская молодежная геологическая конференция «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий», 19-23 сентября 2016 г., Республика Башкортостан, г. Уфа. С. 313-319.
7. Саакян Б.В. Пространственно-временной анализ сейсмичности Северо-западной части Армении / Б.В. Саакян, А.Л. Оганесян // XIV Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. науч. Материалов. Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. С. 225-230.

8. Саакян Б.В. Сейсмотектонические подвижки в северной части Малого Кавказа. / Б.В. Саакян // XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сб. науч. Материалов. Екатеринбург, 2014. С. 204-206.
9. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций / С.Л. Юнга. – М.: «Наука», 1990. С. 193.

SEISMOTECTONIC DISPLACEMENTS AND TENSION-DEFORMATION STATE OF EARTH'S CRUST IN NORTHERN ARMENIA

Sahakyan Babken, Hovhannisyan Haykuhi, Muradyan Aicemik
IGES NAS RA, Gyumri
sahakyan_babken@mail.ru, haykuhi.mkrtchyan.1987@mail.ru, aicem@mail.ru

Abstract. Results of comparative analysis of focal mechanism (FM)parameters of earthquakes and data of deep seismic sounding (DSS) executed by existing profile with the use of quantitative assessment of tensor components of relative seismic deformations velocity, regional and local strained fields of the Earth's crust in Northern Armenia were revealed having complex block structure. Seismotectonic displacements were determined in distinguished blocks and average focal mechanisms.
Key words: focus, focal mechanism, strained fields, tensor deformation, deep seismic sounding, geological environment

УДК 550.834

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИБРОСЕЙСА НА ОСНОВЕ УЧЕТА ЭФФЕКТА АНГАРМОНИЧНОСТИ

Санникова Елена Павловна, Михеев Сергей Иванович
Саратовский государственный университет, Саратов
SannikowaEP@mail.ru, S.mixeev@gmail.com

Аннотация. Обсуждаются возможности повышения эффективности вибрационной сейсморазведки путем учета в ней эффектов ангармоничности. Приводятся сведения о созданном для такого учета программно-алгоритмическом обеспечении, примеры его применения на разведочных площадях в пределах северо-западного сектора Прикаспийской впадины и на территории Бузулукской впадины. Приводимые теоретические расчеты и примеры обработки полевых материалов свидетельствуют об эффективности обсуждаемого подхода.
Ключевые слова: вибрационная сейсморазведка, обработка, моделирование, волна-гармоника, метод общей глубинной точки

Несмотря на достижения в области развития теоретических и экспериментальных основ вибросейса, он, зачастую, уступает по эффективности работ импульсным, особенно взрывным источникам. Помимо прочего, это объясняется игнорированием в теоретических моделях и практике вибросейсморазведки ряда факторов, отрицательно влияющих на ее результаты. К таким факторам, в частности, относится эффект ангармоничности.

Используемая в практике сейсморазведки теория упругих колебаний является приближенной в том смысле, в каком приближена вся теория упругости, основанная на законе Гука. В ее основе лежит разложение упругой энергии в ряд по степеням тензора деформации, причем оставляются члены до второго порядка включительно. В данном приближении любую волну можно представить в виде линейной комбинации монохроматических волн. При переходе к следующим приближениям указанное свойство исчезает и начинают проявляться так называемые ангармоничные эффекты. По мнению авторов, существуют реальные перспективы их использования в решении практических задач поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Особенное значение при этом имеют волны гармоники и субгармоники. Их наличие подтверждено многочисленными экспериментальными работами, выполненными в различных сейсмогеологических условиях [1, 3]. Использование рассматриваемых эффектов и волн может быть положено в основу совершенствования использующихся в настоящее время технологий вибросейса. В этой связи они представляют не только научный, но и практический интерес.

Теоретические аспекты возникновения волн-гармоник и субгармоник подробно описаны в большом количестве публикаций [1, 2, 3]. Наиболее подробно и системно соответствующие вопросы отражены в обобщающей монографии [1]. Вслед за авторами данной монографии в части использования в вибросейсе волн-гармоник и субгармоник, мы исходим из следующих соображений:

– «подпитка» энергией волн-гармоник и субгармоник вычисляемых корреограмм позволяет повысить отношение сигнал/помеха;

– обогащение амплитудно-частотного спектра сейсмических колебаний составляющими, содержащимися в волнах-гармониках и субгармониках, является объективной основой его расширения спектра на октаву. Тем самым обеспечивается повышение разрешающей способности сейсморазведки;

– на основе анализа волн-гармоник и субгармоник можно вычислять количественные показатели нелинейных свойств сред. Последние несут значительный объем дополнительной информации о строении разреза, особенно, в отношении нефтегазонасыщенности пород.

В ходе проведенных исследований авторами разработано программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее вычислять коррелограммы с учетом проявления ангармоничных эффектов (программа «Универсальная корреляция»), а также для математического моделирования таких эффектов, применительно к вибросейсу (программа TVSVIP). Рабочие окна указанных программ приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Они разработаны в среде СИ++Builder в ходе реализации инновационного образовательного проекта СГУ на геологическом факультете 2007-2008 гг. Обе программы реализуют свертку виброграмм с основным (заданным) свип-сигналом либо с волнами-гармониками различной кратности, а также субгармониками. Вычисления основываются на быстром преобразовании Фурье. Полученные результаты при необходимости сохраняются в файлах в формате *.sgy*. Пользователь может задавать модуляцию свип-сигналов, что соответствует моделированию реальных ситуаций, когда управляющие сигналы подвергаются конусованию. Есть также возможность выравнивать частотный спектр виброграмм перед корреляционным преобразованием (режимы «спецкорреляция» и «гармонизация»).

В программе моделирования TVSVIP предусмотрена возможность формирования и анализа трасс, полученных в результате суммирования основного сигнала и его гармоник (субгармоник). Причем, это может делаться как для виброграммы, так и для использующегося для корреляционного преобразования сигнала одновременно.

Рис. 1. Рабочее окно программы «Универсальная корреляция»

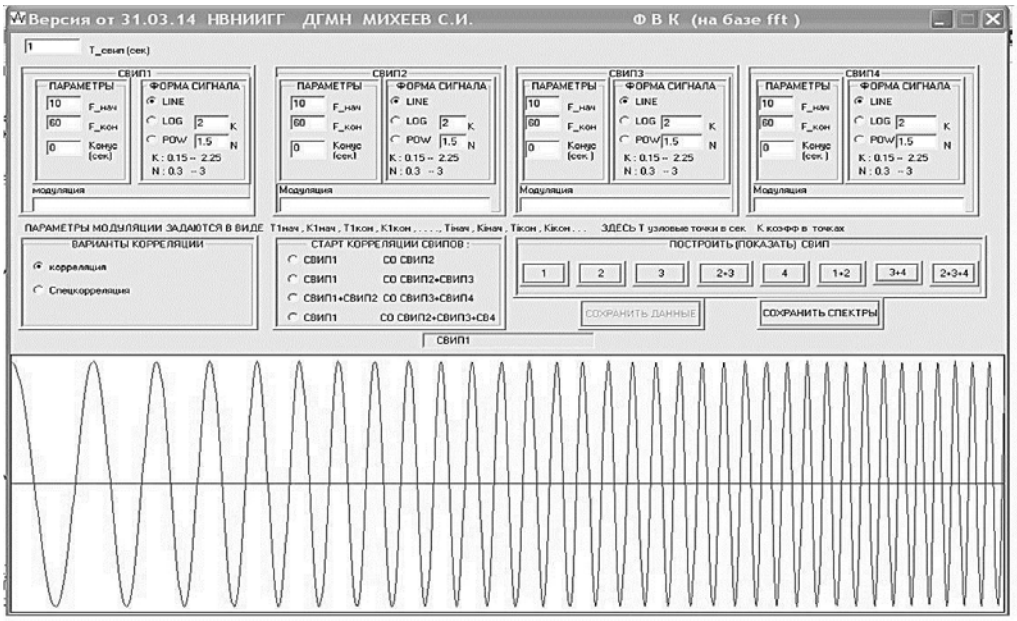


Рис. 2. Рабочее окно программы TVSVIP

Выполненное с помощью программы TVSVIP математическое моделирование данных вибросейса показало, что волны гармоники и субгармоники выделяются путем спецкорреляции виброграмм с незначительными искажениями, практически не обнаруживаемым по результатам визуального анализа. В тоже время, за пределами основного максимума наблюдаются квазигармонические колебания, рассматриваемые как помехи и существенно искажающие вычисленные коррелограммы.

В данной статье приведены примеры успешного применения разработанного программного комплекса на разведочных площадях Саратовской и Оренбургской областей (северо-западный сектор Прикаспийской впадины и Бузулукская впадина). Реализация корреляционного преобразования с учетом волн-гармоник и субгармоник обеспечила здесь существенное улучшение качества сейсмического материала. Такое улучшение заключалось в повышении отношения сигнал/помеха и расширении амплитудно-частотного спектра коррелограмм. В доказательство сделанного вывода приведем далее

монтаж фрагментов сейсмических разрезов МОГТ 2D по Новоузенской площади внутренней части Прикаспийской впадины (Саратовская область), полученных для различных вариантов корреляционного преобразования. Основной геологической задачей описываемого этапа изучения данной территории являлось картирование надсолевого интервала разреза. В 60-х годах на территории исследований был открыт ряд небольших отложений (Таловской Куриловское, Старшиновское, Спортивное). Однако, затем работы по изучению надсолевого интервала разреза прекратились. Лишь начиная с 90-х годов, в условиях рыночной экономики, интерес к открытию на малых глубинах небольших по запасам месторождений снова повысился.

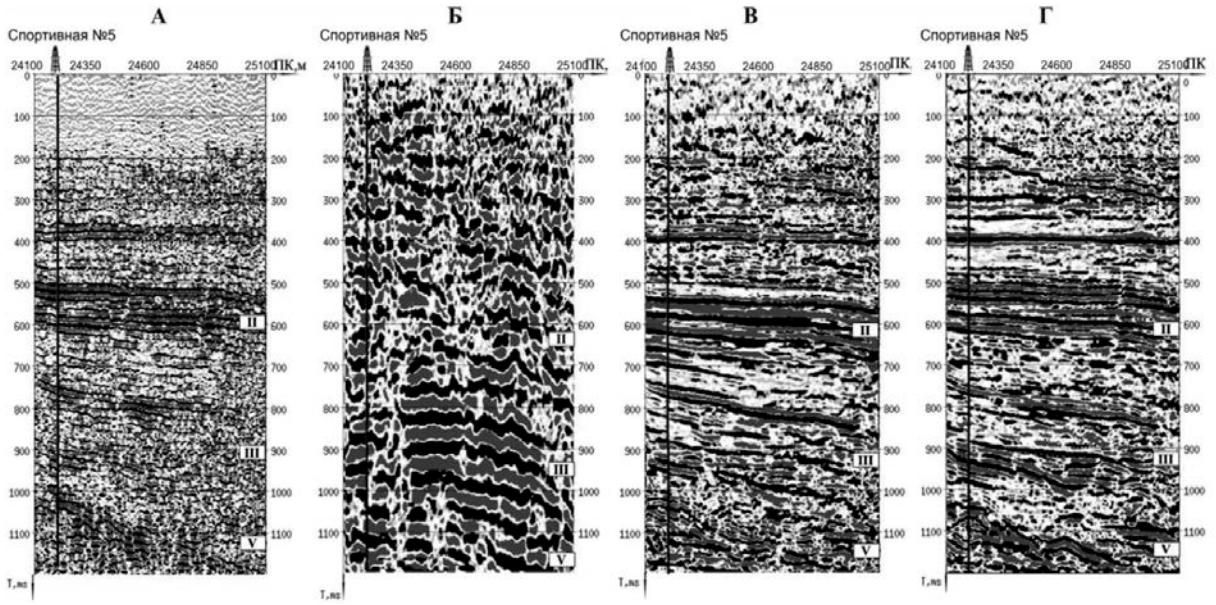


Рис. 3. Монтаж фрагментов временного разреза ОГТ профиля 501, полученных для второй гармоники (А), субгармоники (Б), основного сигнала (В) и для суммы второй гармоники, субгармоники и основного сигнала (Г)

Обработка полевых виброграмм на Новоузенской площади с учётом нелинейных волн производилась авторами в условиях стационарного вычислительного центра с помощью программы «Универсальная корреляция». Задаваемый в поле свип-сигнал имел частоту 10-90 Гц. Учёт нелинейных волн в нашем случае включал свертку каждой виброграммы с двумя синтетическими свипами: для гармоники с удвоенной частотой 20-180 Гц и вычислением временного разреза ОГТ (рис. 3А) и для субгармоники со свипом в полосе 5-45 Гц (рис. 3Б). Для максимального расширения спектра сейсмической записи, полученные результаты корреляционного преобразования для основного свипа суммировались с данными корреляционного преобразования для основного свипа. Соответствующий временной разрез ОГТ приведен на рисунке 3В. Временной разрез МОГТ, соответствующий суммированию второй гармоники, субгармоники и основного сигнала приведен на рисунке 3Г.

Сравнивая временные разрезы, полученные при свёртке с основным сигналом от виброизлучателя и его второй гармоникой (рис. 3В, 3А), можно отметить сокращение количества отражений на разрезе второй гармоники во всем анализируемом временном интервале. Вместе с тем, на нем наблюдается значительное повышение средней частоты сейсмических колебаний. Разрез ОГТ для субгармоники (рис. 3Б) менее информативен по сравнению с другими разрезами и характеризуется низкочастотной записью с видимым периодом колебаний, близким к 12-13 Гц. Однако, и на нем наличие инфор-

мации, проявляющееся в наличии уверенно прослеживающихся осей синфазности, не вызывает сомнений.

Как и ожидалось, по результатам визуального анализа приведенных на рисунке 3 фрагментов временного разреза ОГТ, суммирование кореллограмм, полученных для основного сигнала, гармоники и субгармоники, повысило информативность полученного в результате временного разреза (рис. 3Г). По сравнению со «стандартным» временным разрезом (рис. 3В), на разрезе (рис. 3Г) значительно улучшилась прослеживаемость и динамическая выразительность всех целевых отражающих горизонтов. С очевидностью улучшилась и разрешенность сейсмической записи. Результаты визуального анализа подтвердились вычисленными количественными оценками качества сейсмического материала. Так, оценка отношения сигнал/помеха для «стандартного» разреза составила 9.3, а для разреза ОГТ, полученного суммированием основного сигнала, гармоники и субгармоники – 12.0. Характеристическая разрешающая способность сейсмической записи изменилась, соответственно, с 15.4 до 22.8.

Отмеченный для проанализированного профиля 501 рост разрешенности сейсмических данных и улучшение прослеживаемости целевых отражающих горизонтов в случае учета волн-гармоник и субгармоник наблюдался и для других сейсмических профилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки / А.П. Жуков, М.Б. Шнеерсон. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. С. 210.
2. Михеев С.И. Теория и перспективы использования ангармонических эффектов в вибрационной сейсморазведке / С.И. Михеев, С.Г. Гестрин, М.В. Живодрова // Недра Поволжья и Прикаспия. Вып. 34. Саратов, 2003. С. 42-45.
3. Михеев С.И. К феноменологической базе разработки новых технологий вибросейсморазведки / С.И. Михеев [и др.] // Приборы и системы разведочной геофизики. №02(20) /2007. С. 14-17.

VIBROSEIS TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN TERMS OF ANHARMONICITY EFFECT

Elena P. Sannikova, Sergey I. Mikheev
Saratov state University, Saratov
SannikowaEP@mail.ru, S.mixeev@gmail.com

Abstract. Possibility of increasing vibroseis works efficiency by considering its anharmonicity effects is discussed in the paper. Details of software-algorithmic support, created thereto, examples of its application at exploration targets within north-western sector of Caspian Basin and Buzuluk depression are provided. Quoted theoretical calculations and examples of field data processing demonstrate effectiveness of discussed approach.
Key words: vibroseis works, processing, modeling, harmonic wave, common depth point method

УДК 550.34

СПЕКТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ

Саргсян Сара Нориковна, Геодакян Эдуард Григорьевич
ИГИС НАН РА, г. Гюмри
sara.sargsian@mail.ru, geodakyan.e@mail.ru

Аннотация: На основе цифровых инструментальных записей исследовано влияние геологической среды распространения сейсмических волн и геологического строения «инженерного» слоя под пунктом наблюдения на амплитудный уровень и частотный состав сейсмических воздействий.
Ключевые слова: магнитуда, спектр ускорений, сейсмическая добротность среды, коэффициент поглощения

На современном этапе развития инженерно-сейсмологических исследований однозначно установлено, что сейсмический эффект на поверхности Земли зависит от ряда основных факторов, связанных с очагом землетрясения, физико-механическими свойствами среды распространения сейсмических волн и геолого-геофизическими условиями грунтовых пород в пунктах регистрации [5].

В качестве основных характеристик очага принимаются: магнитуда и механизм очага, амплитудно-частотный спектр сейсмического излучения и его продолжительность.

Реальная геологическая среда распространения волнового поля характеризуется геометрическим расхождением и поглощением упругих сейсмических волн. Основными факторами, влияющими на уровень сейсмического эффекта в пункте наблюдения, являются геологическое строение 30-метрового «инженерного» слоя грунта, наличие в нем различных включений и их мощности, а также плотность и пористость грунтовых пород, насыщенных различными флюидами.

Разработанные к настоящему времени многочисленные эмпирические зависимости параметров сейсмического эффекта от вышеуказанных факторов широко применяются в сейсмической практике оценки сейсмической опасности. Однако эти зависимости не дают объяснения, а в лучшем случае неадекватно оценивают аномальные изменения сейсмических воздействий, нередко возникающих при сильных и разрушительных землетрясениях.

Ярким примером аномального проявления сейсмических воздействий являлось усиление макросейсмических эффектов в г. Гюмри при Спитакском землетрясения 7 декабря 1988 г. Такие же эффекты наблюдались при Гоби-Алтайском (в 1957 г.), Мексиканском (1985 г.) и Японском (2011 г.) сильных землетрясениях.

Анализ литературных источников, в которых описаны исследования этих эффектов, показывает, что некоторые исследователи связывают их с формированием очаговой и ближней зон сильных землетрясений, стоячих, ударных и поперечных изгибных волн [1, 4, 10].

При детальном исследовании аномального проявления сейсмических воздействий при Спитакском землетрясении в г. Гюмри, выполненном по первичным макросейсмическим и инструментальным записям колебаний почвы, выявлено, что основной причиной наблюденных эффектов усиления сейсмического воздействия на значительных расстояниях от эпицентра стало резонансное усиление амплитуды колебаний в верхней части разреза мощностью несколько сотен метров [12].

Известно, что излучение сейсмических волн из очага землетрясения и геологическая среда их распространения совместно создают сложную волновую картину инструментальной записи. Пронизывающие геологическую среду сейсмические волны по мере распространения подвергаются определенным амплитудно-частотным изменениям. Вместе с тем, они несут ценную информацию о строении геологической среды и физико-механических и реологических свойствах грунтов. Снижение амплитудного уровня сейсмических волн с увеличением гипоцентрального расстояния обусловлено тремя факторами: поглощением, геометрическим расхождением и рассеянием. В ближней и очаговой зонах сильного землетрясения определяющую роль имеют поглощающие свойства геологической среды.

В настоящей работе были рассмотрены изменения амплитудного уровня сейсмического излучения, их динамические параметры, а также добротность среды и коэффициент поглощения в различных направлениях от эпицентра.

На основе цифровых записей 16 землетрясений, зарегистрированных на 8-ми станциях, был исследован спектральный состав сейсмических сигналов и сейсмических воздействий на грунтах в ближней зоне. В таблице 1 приводятся основные параметры землетрясений.

Для проведения исследования сейсмического излучения этих землетрясений были применены методы их спектрального анализа, основанные на энергетически-спектральных моделях Хаскелла-Аки-Бруна [3, 7, 13]. Применение этих моделей позволяет значительно расширить понятие очага землетрясения и сейсмического излучения, определить не только его спектральные характеристики, но и параметры возможных воздействий.

С нашей стороны, в работе [6] были детально исследованы спектральные характеристики излучения из очагов 7-ми землетрясений и определены нулевые и угловые частоты (табл. 2).

Таблица 1

Основные параметры землетрясений

Дата	Время в очаге (чч:мм:сс)	Пространственные координаты эпицентров		Глубина	Магнитуда
		φ^0 (N)	λ^0(E)	H, км	M_s
26.06.1990	03:45:00	40.88	44.26	10	2.2
14.07. 1990	16:27:00	40.90	44.20	8	2.8
15.12. 1990	10:38:00	40.86	44.29	10	3.3
16.12. 1990	15:45:00	41.32	43.81	10	5.2
20.12. 1990	13:03:00	41.25	43.85	7	3.5
23.12. 1990	21:28:00	41.65	44.3	8	4.1
11.01. 1991	06:04:00	40.90	44.33	10	3.5
22.07.1991	09:21:21	41.40	44.20	10	2.4
24.07.1991	03:24:01	40.85	44.37	22	3.7
14.09.1991	05:42:19	40.89	44.00	2	4.1
06.10.1991	01:46:45	41.45	43.45	10	4.9
10.10.1991	02:44:46	41.00	43.37	7	4.8
20.12.1991	06:15:26	41.30	43.72	5	3.5
14.02.1992	20:31:57	40.75	44.483	10	2.5
15.03.1992	01:40:03	40.80	44.26	10	2.8
17.12.1992	22:42:52	40.88	44.167	10	2.4

Таблица 2

Значения спектральных параметров

№	Дата землетрясений	Нулевая частота, Гц	Угловая частота, Гц	Максимальная амплитуда, mg
		f_0	f_1	A_{max}
1	26.06.1990 03:45	0.09	-	22.0
2	14.07.1990 16:27	0.04	0.1	15.1
3	15.12.1990 10:38	0.05	0.2	49.6
4	16.12.1990 15:45	0.08	0.2	120.1
5	20.12.1990 13:03	0.07	-	7.2
6	23.12.1990 21:28	0.06	-	13.3
7	11.01.1991 06:04	0.03	0.25	189.6

Выявлено, что землетрясения типа взбросо-сдвиг, преобладающие в Спитакской сейсмогенной зоне, как правило, имеют сложный характер разрывообразования, состоящий из нескольких субисточников. В зависимости от увеличения магнитуды, значение нулевого и первого углового периодов перемещаются в более длиннопериодную область спектра. Количество субисточников в этих очагах колеблется от 2 до 4. Высокочастотные составляющие сейсмических излучений имеют наибольшее значение на переходных участках спектров.

Для изучения влияния геологической среды на распространение сейсмических волн, рассматривались изменения амплитудного уровня сейсмического излучения в зависимости от эпицентрального расстояния и направления распространения сейсмических волн.

В ближней и очаговой зоне сильного землетрясения определяющую роль имеют поглощающие свойства геологической среды [9]. Уровень поглощения сейсмических волн находится в прямой зависимости от частоты колебаний.

Коэффициент поглощения α_n для разных частот имеет следующий вид [8]:

$$\alpha_n = \frac{2\pi\omega}{V_s Q} \quad (1)$$

где ω – частота колебаний,V_s – скорость поперечной волны, Q – сейсмическая добротность среды. Сейсмическая добротность является безразмерным параметром, описывающим затухание сейсмической энергии при прохождении волны в геологической среде, и является важнейшим параметром для изучения макросейсмических проявлений сильных землетрясений и геодинамических или тектонических процессов в сейсмоактивных зонах [11].

Добротность, как и коэффициент поглощения, зависит от частоты колебаний.

Сейсмическая добротность оценивалась отношением спектральных амплитуд однотипных волн, регистрируемых на двух станциях от одного события [2]:

$$ln\frac{|A(\omega,t_1|}{|A(\omega,t_2|} = \frac{\omega}{2}\frac{t_2-t_1}{Q}, \quad (2)$$

где A(ω, t) – амплитуда; t – время пробега волны; Q – сейсмическая добротность среды.

Авторы подбирали различные сочетания двух станций, трассы между которыми наиболее полно покрывали исследуемую территорию.

Значения сейсмической добротности среды рассчитывались в периодном диапазоне от 0.1-1.5 с. Выбор этого периодного диапазона обусловлен тем обстоятельством, что в ближней зоне сильного землетрясения амплитудный уровень на этих частотах и сейсмическая добротность среды представляют наибольший интерес для инженерного анализа сейсмических воздействий. В табл. 3 в качестве примера приводятся значения сейсмической добротности на периоде 0.2 с.

Таблица 3

Значения сейсмической добротности

№	Дата землетрясений	Сейсмическая добротность Q по станциям						
		Q_{1-2}	Q_{2-3}	Q_{3-4}	Q_{4-5}	Q_{5-6}	Q_{6-7}	Q_{7-8}
1	16.12.1990 15:45	24	23	35	46	51	59	50
2	18.05.19941 7:18:55	21	22	30	40	48	53	47
3	09.06.1996 2:16:53	26	25	34	43	54	57	52
4	09.06.1996 5:19:22	25	27	32	44	52	56	55
5	14.01.1999 22:45:14	22	26	36	47	56	58	54

Эти значения позволяют сделать вывод, что исследуемый район условно делится на две зоны с различными значениями Q. Сравнительный анализ значений добротности, полученных по отдельным станциям, констатирует факт более высоких поглощающих свойств среды в области, расположенной к юго-востоку от очага Спитакского землетрясения.

По этим же направлениям рассчитывались коэффициенты поглощения по формуле (1). Результаты этих расчетов приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Значения оценок коэффициентов поглощения α_n (10^{-3} км$^{-1}$) в зависимости от частоты

Сейсмическая добротность	Частота, Гц				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.5
Q_{1-2}	20	41	58	83	141
Q_{2-3}	21	43	60	86	147
Q_{3-4}	14	28	40	57	97
Q_{4-5}	10	21	30	43	73
Q_{5-6}	9.8	19	27	39	66
Q_{6-7}	8.4	16	23	33	57
Q_{7-8}	10	20	28	40	68

Эти значения позволяют сделать вывод, что с ростом частоты коэффициент поглощения увеличивается. Это говорит о том, что в затухании сейсмических волн основополагающую роль играет поглощение.

Особый интерес представляет влияние геологического строения “инженерного” слоя под пунктом наблюдения на амплитудно-частотный состав ускорений.

Для этой цели были подобраны акселерограммы колебаний грунта, зарегистрированные на станциях, имеющих одинаковую направленность и удаленность от очагов афтершоков Спитакского землетрясения, но с разным геологическим строением «инженерного» слоя под станцией (рис. 1).

На основе анализа частотного состава спектров ускорений колебаний было выявлено, что физико-механические и реологические свойства «инженерного» слоя геологической среды под пунктом наблюдения существенно влияют на амплитудный уровень и частотный состав ускорений колебаний грунта.

Сравнительный анализ амплитудно-частотных спектров ускорений колебаний грунта показывает, что на уменьшение амплитудного уровня спектра ускорения существенное влияние оказывает сейсмическая добротность среды, коэффициент поглощения и «инженерный» слой.

Сейсмическая добротность среды и коэффициент поглощения варьируются как в азимутальном направлении, так и с глубиной.

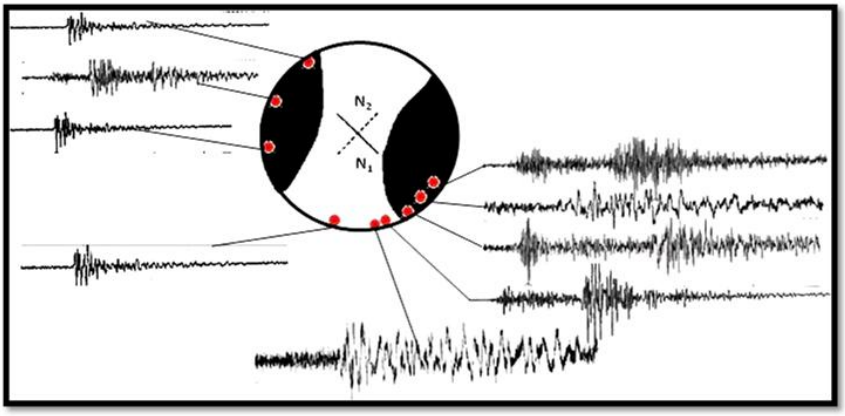


Рис. 1. Азимутальные распределения и фокальный механизм землетрясения 16.12.1990 г., 15:45

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аптикаев Ф.Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. доктора физ.-мат. наук (25.00.10) / Феликс Фуадович Аптикаев. – Москва, 2001. – 45 с.
2. Бат М. Спектральный анализ в геофизике / М. Бат. – М.: Недра, 1980. – 535 с.
3. Брун Дж. Н. Исправление к тектоническим напряжениям и к спектральным сейсмическим волнам сдвига вызванных землетрясением / Дж. Н. Брун // Геофизические Исследования. – 1971. – Том 76, №26. – С. 4997-5009.
4. Быков В.Г. Нелинейные волновые процессы в геологических средах / В.Г. Быков. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 190 с.
5. Геодакян Э.Г. К проблеме изучения аномальных проявлений сейсмических воздействий в очаговой и ближней зонах сильных землетрясений / Э.Г. Геодакян, С.М. Оганесян, Дж.К. Карапетян // Геология и геофизика юга России. – 2014. – №1 – С. 16-21.
6. Геодакян Э.Г. Спектральные характеристики очаговых излучений Спитакской сейсмической зоны / Э.Г. Геодакян // Сб. науч. трудов конференции, посвященной 40-летию ИГИС. – Гюмри: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2002. – С. 299-311.
7. Дас С. Плоскость разлома с барьерами; Модель универсальных землетрясений / С. Дас, К. Аки // Геофизические Исследования. – 1977. – Том 82, №36. – С. 5658–5670.
8. Егоркин А.В. Поглощение продольных и поперечных волн в коре и верх ней мантии Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы / А.В. Егоркин, В.В. Кун, Н.М. Чернышев // Физика Земли. – 1981. – №2. – С. 37-50.
9. Лемзиков В.К. Поглощение сейсмических волн в поверхностных слоях вулкана Кизимен (предварительные результаты) / В.К. Лемзиков [и др.] // Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. – С. 226-230.
10. Оганесян С.М. К постановке задачи о распространении упругих волн чистого изгиба и изгиба в однородном консольном стержне / С.М. Оганесян // В кн.: опасные процессы в горных и предгорных территориях Северного Кавказа. – Владикавказ. – 2012. – С. 316-325.
11. Рогожин Е.А. Особенности сейсмотектоники Сочи-Краснополянского района / Е.А. Рогожин [и др.] // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обинск: ГС РАН, 2010. – С. 174-177.

12. Халтурин В.И. Усиление интенсивности колебаний в Ленинакане / В.И. Халтурин [и др.] // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1991. – Вып. 32. – С. 5-14.
13. Хаскелл Н.А. Эластичные Перемещения в ближнем поле распространения разлома / Н.А. Хаскелл // Сейсмологическое Общ. Ам. – 1969. – Том 59, №3. – С. 865-908.

SEISMIC EFFECTS SPECTRA OF LOCAL EARTHGUAKES AND PECULIARITIES OF THEIR MANIFESTATIONS IN THE TERRITORY OF NORTHERN ARMENIA

Sarah N. Sargsyan, Eduard G. Geodakyan
IGES NAS RA, Gyumri
sara.sargsian@mail.ru, geodakyan.e@mail.ru

Abstract. Influence of geological environment of seismic wave propagation and geological structure of «engineering» layer under observation point on amplitude level and frequency composition of seismic effects is investigated on the basis of digital instrumental records.
Key words: magnitude, acceleration spectrum, seismic quality factor of structure, absorption coefficient, geological structure

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В РАЙОНЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА РАЗНЫХ КОНТИНЕНТАХ

Семенов Андрей Михайлович
ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж
nadezhka@geophys.vsu.ru

Аннотация. Рассмотрены некоторые характеристики микросейсмического шума по данным станций, расположенных в северном и южном полушариях. Сделана оценка закона распределения микросейсмического шума по данным разных станций.
Ключевые слова: микросейсмический шум, временные вариации, закон распределения

Как известно, микросейсмический шум (МСШ) представляет собой сложный волновой процесс [1-5]. Некоторые его составляющие имеют эндогенную природу и отражают геологическое строение и геодинамическое состояние геологической среды. Возможно, их природа связана с собственными колебаниям Земли. Часть составляющих микросейсмического шума является откликом среды на природные воздействия (шторма в океанах, сильные землетрясения и др.). Значительная часть составляющих представляют собой процесс в широком диапазоне частот, который отражает реакцию среды на антропогенное воздействие. Возможно, в исходном микросейсмическом шуме присутствуют составляющие, природа которых может быть связана с космическими факторами, в первую очередь, с лунно-солнечными притяжениями.

В зависимости от геологического строения земной коры, удаленности от океана, степени развития инфраструктуры, роль указанных составляющих в суммарном микросейсмическом шуме будет разной.

Ниже рассмотрены некоторые характеристики микросейсмического шума по данным сейсмических станций, расположенных на территории: Воронежского кристаллического массива Восточно-Европейской платформы (VRH), Канады (FFC), Австралии (WRAB) и Южной Америки (NNA). Для анализа использовались данные широкополосных каналов велосиметров за 2012 год, когда все указанные станции работали непрерывно, без пропусков. На рисунке показано пространственное положение сейсмических станций (рис. 1).

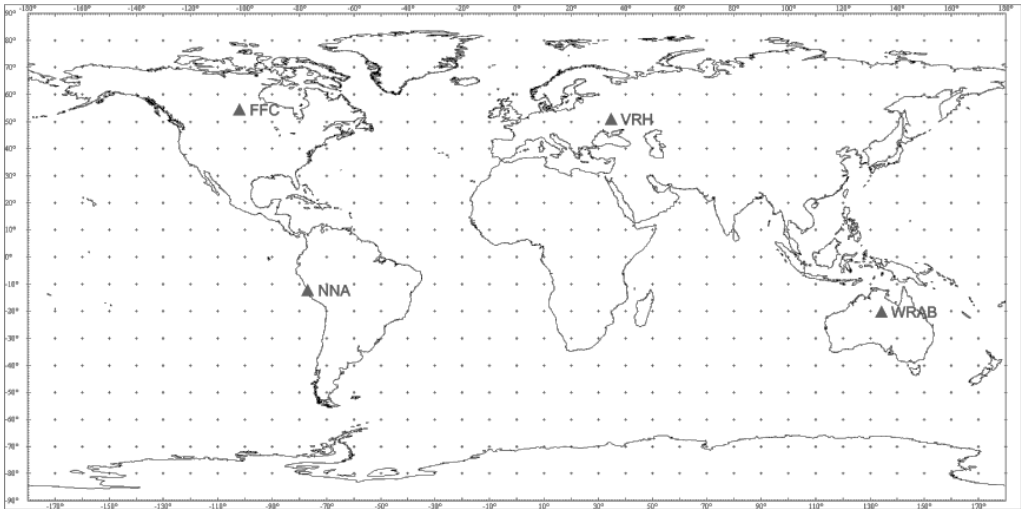
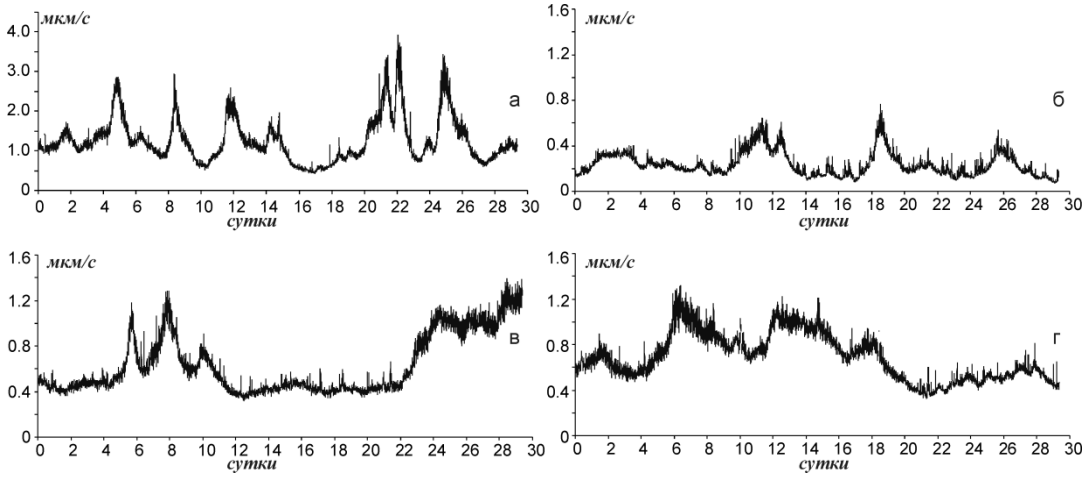


Рис. 1. Расположение сейсмических станций

На первом этапе выполнялся анализ временного распределения модуля амплитуды с осреднением 10 мин. На рисунке представлен пример изменения модуля вертикальной составляющей компоненты МСШ в январе 2012 г. (рис. 2). Как видно из рисунка, уровень МСШ в районе разных станций имеет разную интенсивность.



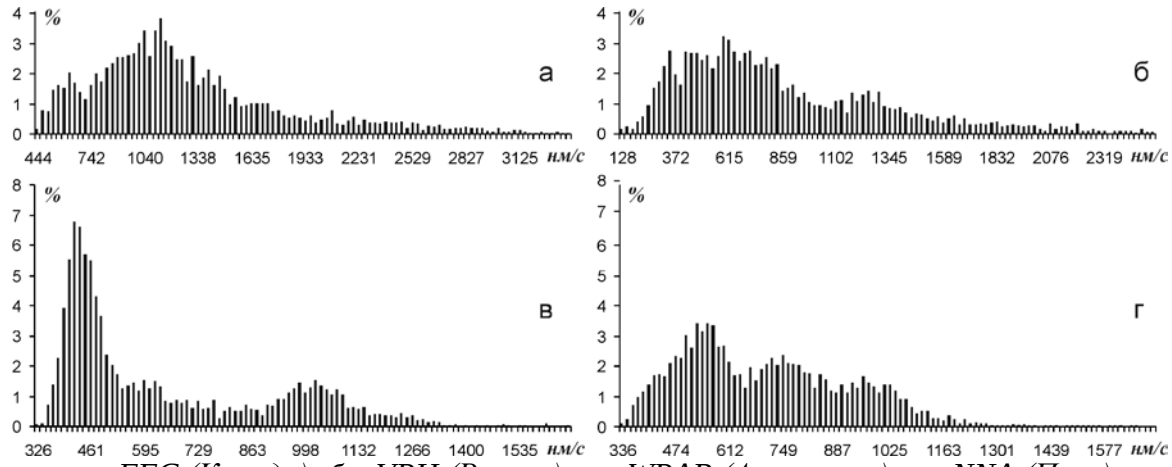
а – FFC (Канада); б – VRH (Россия); в – WRAB (Австралия); г – NNA (Перу)

Рис. 2. Пример временных вариаций вертикальных компонент микросейсмического шума в районе сейсмических станций

Наиболее тихими станциями являются VRH (Воронежский кристаллический массив), WRAB (Австралия) и NNA (Южная Америка, Перу). На этих станциях уро-

вень Z-компоненты МСШ не превышает 1.5 мкм/с. Наиболее шумной является станция FFC (Канада). Уровень Z-компоненты МСШ здесь достигает 3.5 мкм/с. Общим для всех записей Z-компоненты МСШ является наличие локальных, различной временной продолжительности повышений интенсивности МСШ («сейсмические бури»). Наибольшее количество таких возмущений отмечается в записях станций, расположенных в северном полушарии, где в январе – зимнее время. По-видимому, локальное значительное увеличение уровня МСШ обусловлено штормами в северной части Атлантического океана. Наоборот, в январе в южном полушарии – лето. Судя по данным станций WRAB и NNA, расположенных в южном полушарии, локальных возмущений, связанных со штормами гораздо меньше.

Если микросейсмический шум рассматривать как случайный процесс, то можно рассмотреть закон распределения МСШ. На рисунке представлены экспериментальные гистограммы распределения осредненных в 10-минутном интервале значений Z-компоненты МСШ (рис. 3). Как видно из рисунка, все распределения отличаются. Вместе с тем, распределение значений Z-компоненты МСШ по данным станций FFC (Канада) и VRH (Россия), расположенных в северном полушарии, можно в первом приближении аппроксимировать плотностью вероятности соответствующему гамма-распределению. В то же время гистограммы распределения Z-компоненты МСШ по данным станций WRAB и NNA, расположенных в Южном полушарии, не подчиняются этому закону распределения. По-видимому, распределение Z-компоненты по данным южных станций можно, в первом приближении, аппроксимировать несколькими нормальными распределениями.



а – FFC (Канада); б – VRH (Россия); в – WRAB (Австралия); г – NNA (Перу)

Рис. 3. Распределения уровней вариаций вертикальных компонент микросейсмического шума в районе сейсмических станций

Таким образом, предварительный анализ микросейсмического шума, зарегистрированного в северном полушарии (Канада, Россия) и в южном полушарии (Австралия, Южная Америка) показал, что характер временных вариаций осредненных в 10-минутном интервале значений Z-компоненты МСШ и закона распределения разный. Вместе с тем, наблюдается некоторое сходство временных вариаций Z-компоненты МСШ по данным станций северного полушария. Распределения значений Z-компоненты МСШ, в первом приближении, можно аппроксимировать гамма-распределением.

Временные вариации Z-компоненты МСШ южных станций отличаются от данных северных станций. Распределение значений Z-компоненты МСШ по данным южных станций можно, в первом приближении, аппроксимировать несколькими нормальными распределениями.

Возможно, сезонный фактор играет определенную роль в генезисе микросейсмического шума.

Автор выражает благодарность сотрудникам ЛСМ ВКМ и лично м.н.с. И.Н. Сафроничу за помощь и консультацию при проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винник Л.П. Структура микросейсм и некоторые вопросы группирования в сейсмологии / Л.Г. Винник. М.: Наука, 1968. 104 с.
2. Надежка Л.И. О связи параметров сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями Воронежского кристаллического массива / Л.И. Надежка [и др.] // Вестник ВГУ, 2003. серия Геология. №2. С. 63-71.
3. Рыкунов Л.Н. Микросейсмы / Л.Н. Рыкунов. М.: Наука, 1967. 86 с.
4. Табулевич В.Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний / В.Н. Табулевич. Новосибирск: Наука, 1986. 151 с.
5. Хаврошкин О.Б. Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии / О.Б. Хаврошкин. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 286 с.

SOME FEATURES OF MICROSEISMIC NOISE IN THE AREA OF SEISMIC STATIONS LOCATED ON DIFFERENT CONTINENTS

Semenov Andrei Mikhailovich
FRC GS RAS, Voronezh
nadezhka@geophys.vsu.ru

Abstract. Some microseismic noise characteristics in regard to seismic data of stations located in northern and southern hemispheres are presented. Estimation of microseismic noise distribution law according to different stations is given.
Key words: microseismic noise, temporal variations, distribution law

УДК 550.34.034

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сергеев Константин Сергеевич[1], Сергеев Сергей Ильич[1,2]
Королёв Сергей Анатольевич[1], Тихонов Андрей Игоревич[2]
Бондарчук Денис Георгиевич[3]
[1]ИДГ РАН, г. Москва
[2]НТК «Союзтехнопроект», г. Москва
[3]ЦУКС ГУ МЧС России по Республике Хакасия, г. Абакан
dzin@protonmail.com

Аннотация. В настоящей статье описывается разработка программного обеспечения центра контроля сильных движений земли, работающего в реальном масштабе времени, использующего данные акселерометрических измерений, имеющего графический интерфейс пользователя и ориентированного на сотрудников служб спасения. Программное обеспечение написано на языке Python с использованием библиотеки ObsPy.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая станция, сильные движения земли, реальный масштаб времени, программное обеспечение, объекты инфраструктуры, службы спасения

Введение

Получение объективной информации об интенсивности сейсмических воздействий сразу после ощутимого землетрясения – важнейшая задача, стоящая перед Центрами управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) МЧС России. От этой информации зависит распределение приоритетов в работе спасателей и экстренных служб, а в конечном итоге – жизни людей. Один из наиболее достоверных способов оперативной оценки интенсивности сейсмовоздействий – это инструментальные акселерометрические измерения в населённых пунктах и на ответственных объектах. Процесс получения оперативных оценок интенсивности сейсмовоздействия должен быть автоматизирован и реализован в виде надёжного программного обеспечения, функционирующего в реальном масштабе времени. В настоящей работе рассматривается разработка программного обеспечения центра контроля сильных движений земли, функционирующего в одном из сейсмоопасных регионов Российской Федерации.

Основные требования к ПО

Программное обеспечение центра контроля сильных движений земли должно выполнять следующие задачи:

1. Непрерывный приём данных от станций контроля сильных движений земли с постоянным контролем потоков. Подключение центра контроля сильных движений земли к станциям должно производиться по международно-признанным протоколам передачи сейсмологических данных. Это должны быть протоколы реального масштаба времени с возможностью автоматического обнаружения ошибок и повторной передачи информации по запросу.
2. Обнаружение сейсмических воздействий, вызванных только землетрясениями и промышленными взрывами. Локальные сейсмические воздействия, вызванные автомобильным транспортом, промышленными работами, механическими ударами и другими причинами, должны по возможности игнорироваться. Для снижения вероятности ложной тревоги должно использоваться совместное обнаружение по сигналам нескольких станций.
3. При обнаружении сейсмического воздействия, вызванного землетрясением или промышленным взрывом, необходимо провести измерение максимальной амплитуды полного вектора ускорения – PGA (Peak Ground Acceleration). Измерение производится с момента обнаружения до окончания сейсмического воздействия. Полученное значение PGA преобразуется в баллы шкалы MSK-64 [1, 2].
4. Вся обработка должна проводиться в реальном масштабе времени с немедленной выдачей тревожных сигналов для оперативно-дежурных служб спасателей.
5. Разработка программного обеспечения центра контроля сейсмических воздействий должна базироваться на программном обеспечении с открытым исходным кодом, чтобы в ходе эксплуатации иметь возможность исправления ошибок в базовых библиотеках. Исходный код должен предусматривать возможность исполнения в современных операционных системах.

Программная часть

Для разработки программного обеспечения в настоящем проекте был выбран язык программирования Python 2.7. Данный язык является современным, мощным инструментом разработки программного обеспечения. Большое количество доступных

библиотек обеспечивают гибкость и функциональность разрабатываемого ПО. Активное сообщество пользователей способствует его поддержке и развитию. Для запуска программы необходима только среда Python, а это значит, что программу можно запускать на многих широко распространенных операционных системах, в том числе Microsoft Windows, MacOS, Linux. В настоящем проекте были использованы библиотеки ObsPy, SQLite3, NumPy, Matplotlib. Работа программы базируется на библиотеке ObsPy [3, 4, 5] с открытым кодом, разрабатываемой научным сообществом специально для сейсмологических целей. Библиотека ObsPy позволяет принимать данные со станций в реальном масштабе времени по протоколу Seedlink, обрабатывать сейсмологические записи различных форматов, выстаивать графики, спектры. Для работы с базой данных используется библиотека SQLite3. Библиотека NumPy необходима для математических вычислений и работы над массивами. Matplotlib – библиотека для изображения графиков в интерфейсе пользователя.

Принцип работы в реальном масштабе времени. Подключение к станции контроля сильных движений земли осуществляется по протоколу Seedlink, это протокол международного стандарта, разработанный в немецком институте GFZ (German Research Centre for Geosciences) [6]. Прием осуществляется по двум станциям одновременно, независимо друг от друга, это достигается путем использования средств многопоточности языка Python. Всего в программе используется три потока, один для интерфейса и два для каждой из станций. Различные блоки программы запускаются по одному из трех видов событий: по приему пакетов, по таймеру, по обнаружению сейсмического воздействия.

Обработка по приему пакета данных осуществляется в потоке для каждой станции индивидуально. Как только принят пакет, происходит определение типа пакета, в пакете могут быть данные ускорения по оси Запад-Восток, Север-Юг, или вертикали. В первых двух случаях программа дополняет буферные массивы обработки и визуализации. Если пришел пакет с данными об ускорении по вертикали, помимо дополнения буферного массива обработки и визуализации начинается дальнейшая обработка буферного массива данных вертикали: узкополосная фильтрация в буферном массиве, запуск обнаружителя recursive STA/LTA, определение максимального значения STA/LTA, сравнение максимального значения с порогом обнаружения сейсмического воздействия. Если порог не превышен, то происходит перевод индикаторов в состояние «Сейсм. возд. нет», «Ощутимых возд. нет». Также производится вычисление буферов визуализации по трем каналам, определение временного интервала, для которого есть данные по всем трем каналам, расчет массива вектора полного ускорения для определенного выше интервала, после чего программа возвращается в режим ожидания пакетов.

Обработка по обнаружению события. Если порог STA/LTA был превышен, определяется время начала сейсмического воздействия. Сравнивается значение STA/LTA с порогом окончания сейсмического воздействия. Если текущее значение выше порога, то подаются сигналы для оповещения пользователя: отображение красных индикаторов «Идет сейсм. возд.», «Ощутимое возд.» (индикатор «Ощутимое возд.» загорается только при превышении ускорением порога ощутимого сейсмособытия), звуковое оповещение, выделение красным цветом сейсмособытия на графике полного вектора ускорения. Если текущее значение STA/LTA ниже порога окончания сейсмовоздействия, индикаторы «Идет сейсм. возд.», «Ощутимое возд.» возвращаются в состояние «Сейсм. возд. нет», «Ощутимых возд. нет». Выделенное красным событие на графике продолжает отображаться, пока не дойдет до предела отображения на графике. Определяется время окончания сейсмического воздействия. Вычисляется значение максимальных модулей векторов ускорения в вертикальном и горизонтальном

направлениях, максимальное значение модуля полного вектора ускорения на интервале сейсмического воздействия. Последнее используется для определения оценки интенсивности сейсмического воздействия. Результаты обработки записываются в базу данных, волновые формы события записываются в файлы.

Обработка по таймеру. Часть элементов интерфейса пользователя обновляется по таймеру. Среди них: графики ускорения по направлениям север-юг, запад-восток, вертикаль; график полного вектора ускорения с пометкой красным обнаруженного события; таблица информации по полному вектору ускорения; статус подключения.

Интерфейс пользователя

Общий вид интерфейса пользователя показан на рисунке (рис. 1).

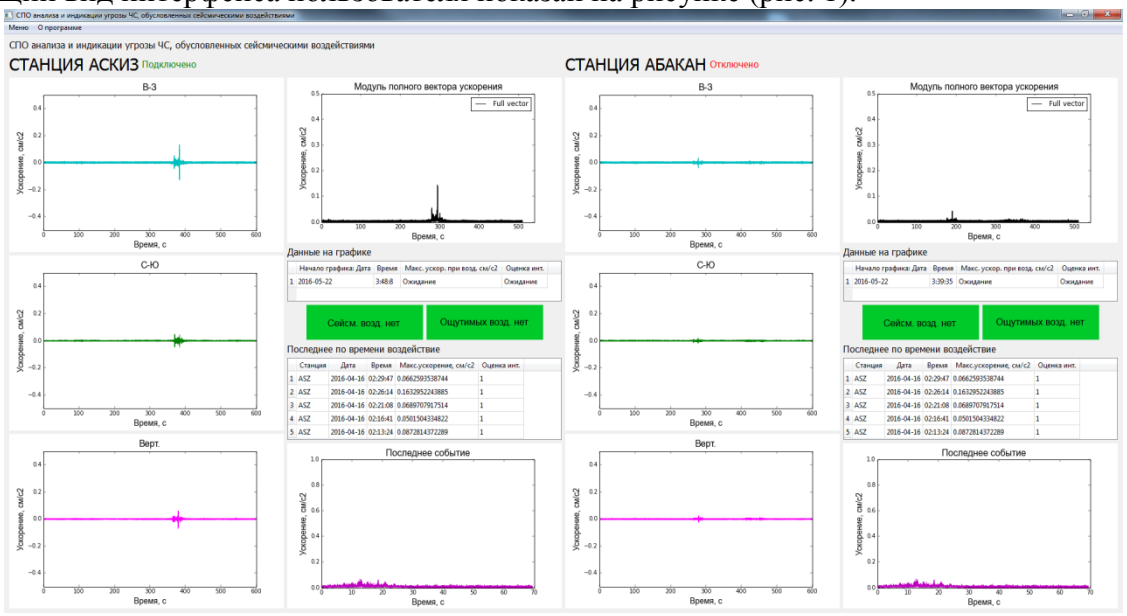


Рис. 1. Общий вид интерфейса пользователя

График модуля полного вектора ускорения обновляется по таймеру. При обнаружении события, красным цветом выделяется участок графика с определенным событием. Под графиком размещается таблица, содержащая информацию о времени и дате, соответствующим началу графика. Если на графике появляется событие, отображается значение максимального ускорения на графике и соответствующая ему оценка интенсивности в баллах макросейсмической шкалы MSK-64.

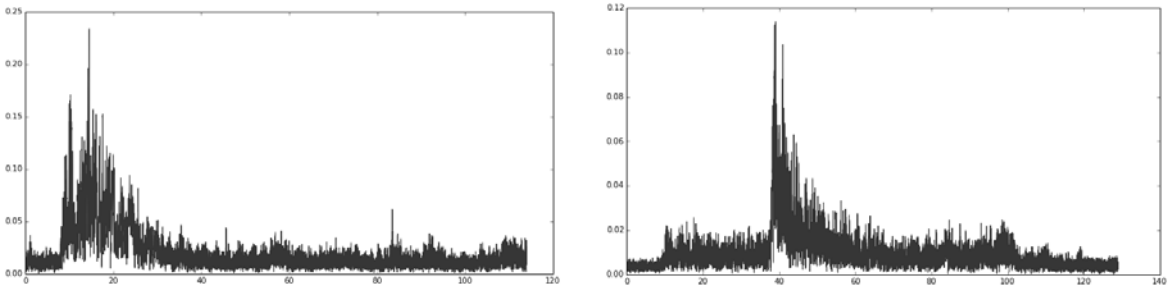
Таблица последних событий. В таблице отображаются пять последних по времени событий, обнаруженных на отдельной станции. В таблице имеются следующие поля: «Станция» – имя станции, получаемое по протоколу Seedlink, «Дата» – дата события, «Время» – время начала события, «Макс. ускорение, см/с^2» – максимальное ускорение при событии, «Оценка инт.» – оценка интенсивности события в баллах шкалы MSK-64.

График последнего события отображает «вырезанную» запись модуля полного вектора ускорения последнего по времени события.

Масштаб графика по вертикали выбран так, чтобы вся шкала соответствовала порогу чувствительности человека – 1 см/с^2. В этом случае слабые сейсмические воздействия будут отображаться вблизи горизонтальной оси. Это нужно для того, чтобы у оператора, не являющегося сейсмологом, было корректное представление о масштабе события. Если максимальное значение ускорения при сейсмическом воздействии выше 1 см/с^2, график автоматически масштабируется.

Результаты работы

Апробация программы велась на одной из станций контроля сильных движений земли, расположенной в г. Абакан (Республика Хакасия). Например, за двое суток, в период 17-18 мая 2016 года, станцией было зарегистрировано 5 сейсмических воздействий. Все они имели интенсивность 1 балл, поскольку максимальное значение ускорения не превысило 1.5 см/с^2 – нижнюю границу для 2 баллов по шкале MSK-64 [3]. Наиболее высокие значения PGA при воздействиях составили 0.23 см/с^2 и 0.11 см/с^2. Первое (рис. 2а) было вызвано промышленным взрывом в карьере в 22 км к западу от Абакана, второе (рис. 2б) – землетрясением магнитудой 4.3, произошедшем в Республике Тыва. В последнем случае инструментальная оценка интенсивности совпала с расчётным значением по данным Алтае-Саянского филиала Единой геофизической службы РАН [7].



а) б)

Рис. 2. Акселерограммы сейсмических воздействий, вызванных промышленным взрывом (а) и землетрясением (б), автоматически сформированные с помощью разработанного ПО. По горизонтали – время, с. По вертикали – ускорение, см/с^2

Выводы

1. Опытная эксплуатация ПО подтвердила стабильность работы ПО в условиях перебоев в каналах связи, удобство интерфейса с минимумом интерактивных функций для операторов ЦУКС.
2. Разработанное ПО имеет гибкую реализацию расчёта оценки интенсивности сейсмического воздействия. При необходимости переход на новую макросейсмическую шкалу (например, [8]) сведётся всего лишь к смене одной из программных функций ПО.
3. ЦУКС, где эксплуатируется ПО, располагает информацией о звонках граждан с сообщениями о сейсмособытиях. Это позволяет частично контролировать адекватность автоматически полученных оценок при сейсмических воздействиях.
4. Результаты автоматического определения PGA могут быть использованы в дальнейшем для коррекции параметров регионального уравнения макросейсмического поля.
5. После набора статистики и сбора результатов макросейсмических обследований можно будет оценить точность существующей инструментальной шкалы и, возможно, подойти к вопросу о региональной шкале макросейсмической интенсивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод правил СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* // Минстрой России М. 2014 – 125 с.
2. Персональный сайт проф. В.И. Уломова «Внимание! Землетрясение!» [Электронный ресурс]. – URL: http://seismos-u.ifz.ru/ (дата обращения: 10.05.2016).

3. Beyreuther M. ObsPy: A Python Toolbox for Seismology / M. Beyreuther [et al.] // SRL, 2010, 81(3), 530-533.
4. Megies T. ObsPy – What can it do for data centers and observatories? / T. Megies [et al.] // Annals Of Geophysics, 2011, 54(1), 47-58.
5. Krischer L. ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem / L. Krischer [et al.] // Computational Science & Discovery, 2015, 8(1), 014003.
6. GEOFON Program [Электронный ресурс]. – URL: http:// http://geofon.gfz-potsdam.de/ (дата обращения: 10.05.2016).
7. Оперативные сообщения о сейсмических событиях [Электронный ресурс]. – URL: http://gs.sbras.ru/ (дата обращения: 10.05.2016)
8. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности / Ф.Ф. Аптикаев. М.: Наука и образование, 2013. 175 с.

QUICK ESTIMATION OF SEISMIC IMPACT INTENSITY

Sergeev Konstantin [1], Sergeev Sergey[1,2], Korolyov Sergey[1]
Tikhonov Andrey[2], Bondarchuk Denis[3]
[1] IDG RAS
[2] NTK Soyuztechnoproject
[3] Crisis Management Center of Emercom of Khakassia
dzin@protonmail.com

Abstract. This article describes development process of real time strong ground motions control center software. This software is using data accelerometer measurements, has a graphical user interface and designed for rescue services employees. It is written in Python using ObsPy library.
Keywords: earthquake, seismic station, strong ground motion, real time processing, software, infrastructure, rescue services

УДК 550.34.01

ОПРОБОВАНИЕ МЕТОДИК МАССОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТНЫХ МАГНИТУД M_W ДЛЯ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Скоркина Анна Александровна[1], Гусев Александр Александрович[1,2],
Павлов Виктор Михайлович[1], Абубакиров Искандер Радиевич[1]
[1]КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский
[2]ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский
anna@emsd.ru, gusev@emsd.ru, pvm@emsd.ru, air@emsd.ru

Аннотация. Существуют разнообразные методики и шкалы для определения магнитуды M землетрясения, однако оценки большинства магнитуд являются лишь условными параметрами. Предпочтительной является современная шкала моментных магнитуд M_W; M_W жестко связанна с сейсмическим моментом M_0 очага, измеряемым в физических единицах (Н·м). В настоящей работе кратко описываются разные способы определения M_0 для условий Камчатки, а также проводится сопоставление полученных оценок M_W для 905 землетрясений Камчатки за 2010-2014 гг. друг с другом и с локальной магнитудой M_L.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда, сейсмический момент M_0, моментная магнитуда M_W, Камчатка

Для изучения очагов землетрясений, а также для ряда практических задач сейсмологии, необходим каталог землетрясений с оценками магнитуд в единой шкале. В настоящее время возникает традиция использовать в каталогах моментные магнитуды M_W, жестко связанные с сейсмическим моментом очага, M_0, измеряемым в физических единицах (Н·м). В этой связи возникают следующие группы задач: (1) сопоставить различные методики определения M_0 и M_W в регионе и убедиться в согласованности получаемых оценок; (2) надежно определить среднюю связь M_W со стандартной региональной локальной магнитудой M_L. Эти задачи решали для условий Камчатки. Предпосылкой такого исследования является создание в 2008-2010 гг. на Камчатке сети цифровых сейсмических станций. Для пересчета M_0 в M_W далее используется известная формула: $M_W = (2/3)\cdot(\log M_0\ [\text{Н}\cdot\text{м}] - 9.1)$ [6].

В настоящее время в качестве опорной магнитудной шкалы для Каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов [2] традиционно используется региональная магнитуда M_L, которая пересчитывается из энергетического класса K_S^{F68} [4] по формуле: $M_L = K_S^{F68}/2 - 0.75$. Оценки M_L для Курило-Камчатских землетрясений принято считать сопоставимыми с M_W. Полезно охарактеризовать связь M_L и M_W более детально. Для такого исследования нужны исходные объемы данных по M_W, в то время как исходные данные по M_L имеются в региональном каталоге.

В качестве стандартных оценок M_W для Камчатки обычно рассматриваются оценки M_W^{GCMT} [5], с нижним порогом около $M_W = 5$. Для расширения набора данных по M_W, в дополнение к M_W^{GCMT} за период 2010-2014 гг. для наборов Курило-Камчатских землетрясений (φ: 48°–58° с. ш., λ: 153°–173° в. д.) изучалась возможность оценивать M_0 по цифровым сейсмическим записям в регионе. При успехе это позволило бы опустить порог определения M_W для регионального каталога. Было также необходимо убедиться в отсутствии существенных расхождений между региональными оценками и оценками по GCMT.

Сейсмический момент M_0 определяли четырьмя способами: (A) инверсией широкополосных сейсмограмм велосиграфов (BH-каналы) с использованием теоретических сейсмограмм; (B) по уровню спектров коды *S*-волны, по записям акселерографов (HN-каналы); (C) по уровню спектров объемных *S*-волн, также по записям акселерографов (HN-каналы) (рис. 1). Последний определяли либо, используя полосовую фильтрацию с помощью гребенки фильтров (C1), либо с использованием спектров Фурье (C2). Для оценки M_W по уровню спектров выделяли по возможности площадку в низкочастотной части (НЧ) найденного очагового спектра смещений, что удавалось в 62% случаев (B), в 63% (C1) и в 69% (C2). В методах (B) и (C) для приведения наблюденных спектров к очаговым в форму спектра вносилась поправка за потери вдоль луча, для чего воспользовались оценками $Q_S(f)$ из [1]. Отметим, что методики (B) и (C1) реализованы в автоматизированном режиме, в то время как для методик (A) и (C2) используется индивидуальная обработка. Кратко охарактеризуем упомянутые способы определения M_0.

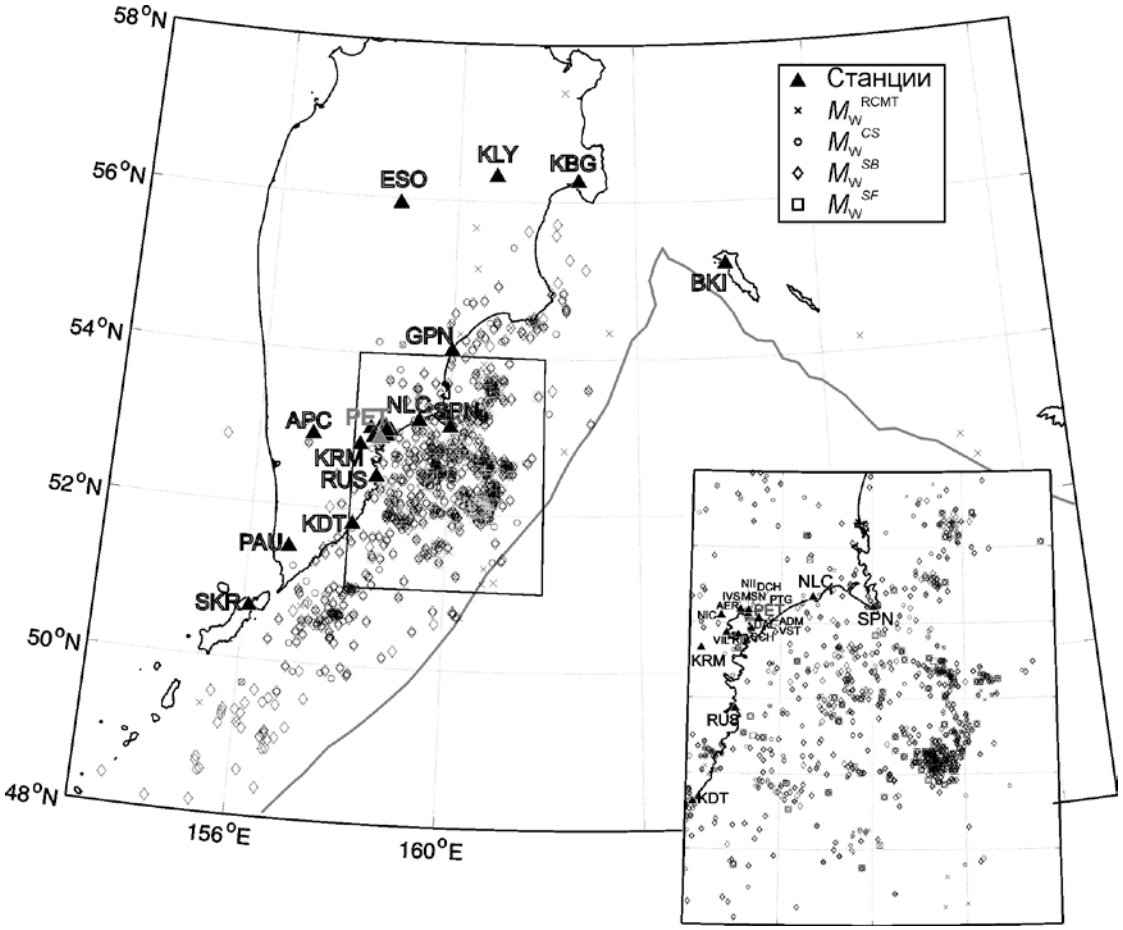


Рис. 1. Эпицентры землетрясений, для которых M_W определена региональными методами

(A) В интерактивном режиме проводили инверсию широкополосных сейсмограмм, результатом которой является тензор $M_{ij} = M_0 \cdot m_{ij}$, с последующим расчетом M_0 и далее M_W. Используются теоретические сейсмограммы (функции Грина), рассчитанные по оригинальному варианту метода дискретных волновых чисел [3]. Обозначим такие оценки как M_W^{RCMT}.

Из 171 полученного решения RCMT в 118 случаях оценки M_W^{GCMT} отсутствуют. Количество пар RCMT–GCMT равно 53 (табл. 1). Обнаружено хорошее согласие между региональными и глобальными оценками.

(B) Путем полосовой фильтрации широкополосной записи коды *S*-волны в наборе 12 полос шириной 2/3 октавы, перекрывающих диапазон 0.2-40 Гц, получали сглаженные оценки очаговых спектров, для чего сначала находили оценки среднеквадратического уровня коды, на запаздывании 100 с относительно времени в очаге, а затем по уровню коды оценивали очаговый спектр, пользуясь доработанным вариантом методики Т.Г. Раутиан [7]. Далее выделяли, при возможности, НЧ площадку в найденном очаговом спектре. Уровень площадки дает значение M_0, которое пересчитывали в оценку M_W. Обозначим такие оценки M_W^{CS}, где «*CS*» соответствует коде *S*-волны (*C*oda of *S*-waves).

(C1) Подобно случаю (B), путем полосовой фильтрации записи *S*-волны рассчитывали очаговые спектры и оценивали уровни НЧ площадки. Обозначим такие оценки M_W^{SB}, где «*SB*» соответствует способу определения M_0 по уровню НЧ площадки очагового спектра смещений *S*-волн, причем спектр рассчитан полосовой фильтрацией (*B*and).

Таблица 1

Сопоставление наборов данных и методов определения M_W

	Способ определения M_W				
	M_W^{GCMT}	M_W^{RCMT}	M_W^{CS}	M_W^{SB}	M_W^{SF}
Диапазон полученных M_W	4.8 – 6.8	3.4 – 6.6	2.5 – 6.3	2.6 – 6.2	3.7 – 5.5
N станций	8 – 159	3 – 5	3 – 8	3 – 8	3 – 20
N полученных M_W	142	171	680 из 1099	692 из 1099	117 из 170
N пересечений с M_W^{GCMT}/ M_W^{RCMT}	—	53 / —	65 / 123	82 / 115	23 / 27
$\mu(M_W^* - M_W^{GCMT})$ / $\mu(M_W^* - M_W^{RCMT})$ [1]	—	–0.090 / —	–0.055 / 0.030	–0.109 / 0.053	–0.212 / –0.042
$\sigma(M_W^* - M_W^{GCMT})$ / $\sigma(M_W^* - M_W^{RCMT})$ [2]	—	0.084 / —	0.208 / 0.257	0.223 / 0.247	0.170 / 0.137
Нижний порог полноты каталога с полученными оценками M_W	~ 5.0	~ 4.0	~ 3.5	~ 3.5	~ 4.0

[1]Средняя разность оценок двух методов. Обобщенный индекс (*) следует понимать в соответствующем столбце как ^{CS} / ^{SB} / ^{SF}.

[2]Стандартное уклонение разностей индивидуальных оценок двух методов.

(С2) В интерактивном режиме определяли M_0 спектральным методом по уровню площадки в НЧ спектра смещений *S-волн*. Группа *S*-волн на записи землетрясения выделялась в пределах сегмента шириной 10–30% от времени пробега *S*-волны, умножалась на косинусное окно в пределах 5% длительности сегмента, затем подвергалась БПФ. Спектр сглаживался с постоянным шагом по логарифму частоты, в пределах полосы шириной 2/3 октавы. Обозначим такие оценки M_W^{SF}, где «*SF*» соответствует способу определения M_0 по уровню НЧ площадки очагового спектра смещений *S*-волн, причем спектр рассчитан БПФ (*F*ourier).

Суммарные численные характеристики перечисленных методов и данных приведены в таблице 1, а сопоставление индивидуальных оценок представлено на рисунке (рис. 2).

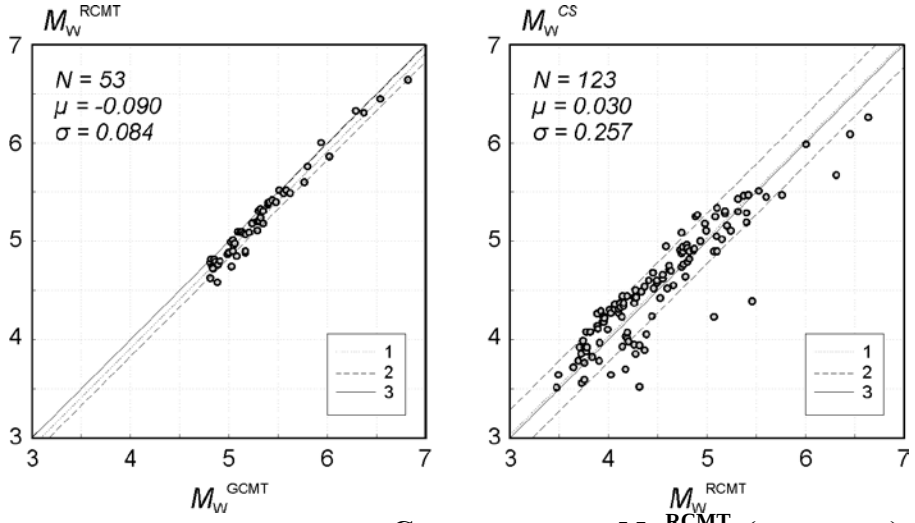


Рис. 2. Связи между магнитудами. Слева – связь M_W^{RCMT} (ордината) и M_W^{GCMT} (абсцисса). Справа – связь M_W^{CS} (ордината) и M_W^{RCMT}(абсцисса). Среднюю связь дает точечный пунктир (1), стандартные отклонения (σ) – штриховой пунктир (2). Сплошные линии (3) соответствуют типу связи 1:1. В предположении линейной связи оценок M_W, полученных разными способами, оценивали постоянную разность для пар оценок, принимая угловой коэффициент равным 1.0

Видно, что низкочастотные оценки RCMT и GCMT согласуются очень хорошо, что, скорее всего, говорит об их вполне приемлемой точности. Для контроля оценок M_W^{CS}, M_W^{SB} и M_W^{SF} использовали сопоставление с полученными ранее M_W^{GCMT} и M_W^{RCMT}. Для оценок по спектрам *S*-волн и коды согласие с низкочастотными оценками несколько хуже, чем между такими оценками, но все же его можно считать удовлетворительным. Важный результат – снижение нижнего порога M_W, которого удается достигнуть каждым из региональных методов.

Далее изучали связь M_L–M_W. Хотя можно было ожидать и отклонения данной связи от линейности, и, в случае линейности, отклонения углового коэффициента полученной прямой от 1.0, оказалось, что предположение линейной связи M_L и M_W, и постоянной разности этих величин, является приемлемым в изученном диапазоне M_W = 3.0–6.0 (M_L = 3.4–6.4). Результаты представлены в таблице 2. Рекомендованные связи: $M_W = M_L - 0.40$ и $M_W = 0.5\,(K_S^{F68}) - 1.15$.

Таблица 2

Связь оценок M_W, полученных разными способами, с региональной шкалой магнитуд M_L (K_S^{F68})

Способ определения M_W	*N* пар	$\mu\,(M_W–M_L)$	$\sigma\,(M_W–M_L)$
M_W^{GCMT}	142	–0.337	0.231
M_W^{RCMT}	171	–0.403	0.256
M_W^{CS}	680	–0.393	0.228
M_W^{SB}	692	–0.420	0.235
M_W^{SF}	117	–0.482	0.163
Рекомендуемая поправка:		*–0.400*	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.А. Оценка затухания поперечных волн в среде вблизи ст. «Петропавловск», Камчатка, по спаду спектра / А.А. Гусев, Е.М. Гусева // Физика Земли. – 2016. – №4. – С. 35–51.
2. Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. Единая информационная система сейсмологических данных. Режим доступа: http://www.emsd.ru/sdis (дата обращения: 27.10.2016).
3. Павлов В.М. Алгоритм расчета тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объемных волн / В.М. Павлов, И.Р. Абубакиров // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2012. – №2(20). – С. 149–158.
4. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд / С.А. Федотов // Наука. – 1972. – 117 с.
5. Global Centroid Moment Tensor Project. Режим доступа: http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html (дата обращения: 27.10.2016).
6. Kanamori, H. The energy release in great earthquakes / H. Kanamori // Journal of Geophysical Research. – 1977. – V. 82. – №20. – P. 2981–2987.
7. Rautian, T.G. The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum / T.G. Rautian, V.I. Khalturin // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1978. – V. 68. – №4. – P. 923–948.

ANALYSIS OF MASS DETERMINED M_W ESTIMATES FOR KAMCHATKA EARTHQUAKES

Anna A. Skorkina[1], Alexander A. Gusev[1,2],
Victor M. Pavlov[1], Iskander R. Abubakirov[1]
[1]KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
[2]IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
anna@emsd.ru, gusev@emsd.ru, pvm@emsd.ru, air@emsd.ru

Abstract. There are different approaches and scales to estimate the magnitude M of earthquakes. However, majority of magnitude estimates are of arbitrary scales. Moment magnitude scale M_W is preferable; M_W is rigidly bound with source seismic moment M_0, which is measured in physical units (Nm). In the paper we briefly describe several approaches to estimate M_0 for Kamchatka region, and also compare M_W estimates obtained for 905 Kamchatka earthquakes of 2010–2014 with each other and with local magnitude scale M_L.
Key words: earthquake, magnitude, seismic moment M_0, moment magnitude M_W, Kamchatka

УДК 550.34.03

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНОГО РАЗЛОМА НА ПОЛИГОНЕ БИЛИКТУЙ

Тирских Нина Игоревна, Шкиря Михаил Сергеевич
Белов Владимир Александрович, Айкашева Надежда Александровна
Давыденко Юрий Александрович
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск
Muaythai1921@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрено определение параметров тектонического нарушения комплексом геофизических методов, включающих магниторазведку, электротомографию и метод электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП).
Ключевые слова: срединный градиент, одномерная инверсия, геоэлектрические разрезы, кажущееся сопротивление, тектоническое нарушение

В мае 2015 г. научно-исследовательской лабораторией «Комплексирование геофизических методов поиска месторождений ПИ» на полигоне Биликтуй проводились геофизические опытно-методические работы. Была выполнена съемка 4 профилей методом импульсной электроразведки электромагнитного зондирования методом вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП), 6 профилей электротомографии и 14 профилей магниторазведки. Целью работ являлось изучение тектонически активного разлома для обоснования усиления конструкции газопровода.

Идея ЭМЗ-ВП заключается в максимально полном использовании информации от переходных процессов, возбуждаемых прямоугольными разнополярными импульсами, которые применяются в традиционных методах постоянного тока. Суть технологии заключается в способе измерения и обработки данных переходных процессов, полученных от заземленного источника тока многоэлектродной заземленной приемной линией. В этом случае существует возможность одновременного определения кажущего-

ся удельного сопротивления среды, индукционной составляющей и эффектов вызванной поляризации геоэлектрического разреза. Полученные данные затем обрабатываются с использованием робастного регрессионного анализа и в сочетании с одно- и трехмерной инверсией в рамках модели поляризующейся среды. Вместо того, что бы подавлять индукционный эффект, являющийся помехой для традиционных методов ВП, применение в ЭМЗ-ВП современной системы регистрации и обработки позволяет записать их с минимальными искажениями. Регистрация переходных процессов накладывает новые условия на систему сбора данных. Для корректной записи требуется применять АЦП с высокой частотой дискретизации (не менее 100 кГц) и соответствующим образом обрабатывать первичные данные [3].

Участок работ (рис. 1) располагается на юге Средне-Сибирского плоскогорья, в южной части Ангара-Ленского плато. С юго-запада, юга и юго-востока эта территория обрамляется горными сооружениями Восточного Саяна, Олхинско-Голоустинским плато и Приморским хребтом. К подножью Восточного Саяна широкой полосой примыкает пониженная часть плоскогорья, образующая Иркутско-Черемховскую предгорную равнину. Рельеф Биликтуя слаборасчлененный.

Рис. 1. Схема участка работ

На территории Биликтуя и его окрестностей также широко развиты рыхлые молодые отложения четвертичного возраста. Они имеют самое разнообразное происхождение. Среди них встречаются речные, склоновые, озерные, эоловые, криогенные и биогенные. Но по составу это преимущественно грубообломочные отложения, представленные галечниками, песками.

Разлом, выделенный по результатам предшествующих работ, характеризуется субширотным простиранием и располагается по правому борту р. Биликтуйка. Он отчетливо проявляется в изучаемых признаках, и поэтому был исследован всеми методами, применяемыми в ходе работ.

В целом участок Биликтуй характеризуется развитием двух гидромелиоративных зон. Склоны гор и водоразделы относятся к зоне отсутствия мерзлоты, недостаточного для увлажнения и глубокого (более 40 м) залегания грунтовых вод. Долины же рек, по которым развита островная мерзлота, наоборот, переувлажнены и заболочены.

Съемка магнитного поля выполнялась пешеходным магнитометром ММ POS-1. Всего было отснято тринадцать профилей. По результатам работ была отстроена карта аномального магнитного поля, на которой четко выделяется зона тектонического нарушения.

Съемка электротомографии выполнялась 16-канальной электроразведочной аппаратурой «Скала-64» [1]. Было отснято шесть профилей. Расстояние между профилями составляло 20 м, между пикетами 5 м. Шестой профиль был задан перпендикулярно, предшествующим пяти профилям. По результатам работ были отстроены геоэлектрические разрезы по шести профилям (рис. 2). В результате инверсии данных можно четко выделить зону сезонной мерзлоты.

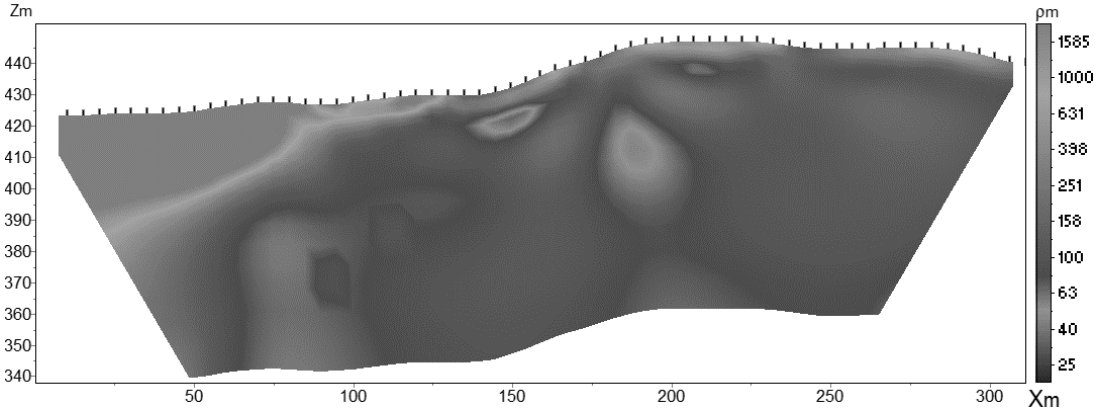


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по данным электротомографии профиля 1

Также на участке выполнялись работы методом ЭМЗ-ВП. На первом этапе при решении обратной задачи данные обрабатывались в программе Mars1D, с помощью применения различных алгоритмов минимизации: метод Нелдера-Мида, так же известный как метод деформируемого многогранника и Симплекс-метод, алгоритм Левенберга-Марквардта и метод главных осей (PrAxis) , что для корректно выбранной модели позволяет устойчиво и с высокой скоростью подбора находить положение глобального минимума в многомерном признаковом пространстве. Уточнение результатов проводилось вторичным подбором кривых после закрепления некоторых параметров модели на основе априорной геолого-геофизической информации. Таким образом, с высокой точностью подобраны параметры четырехслойной модели (рис. 3), а так же приведена карта, на которой показаны найденные в результате инверсии значения удельного электрического сопротивления.

По данным инверсии в центральной части участка была выделена зона разлома, так же можно четко наблюдать зону развития многолетнемерзлых пород.

По результатам комплексного анализа данных магниторазведки, электротомографии и ЭМЗ-ВП выделяется складчатая структура и тектонические нарушения.

Полученные результаты позволяют утверждать, что использованный комплекс геофизических методов в данных геологических условиях имеет большую геологическую и экономическую эффективность, обладает высокой детальностью и разрешающей способностью, обеспечивает четкое выделение границ перспективных зон.

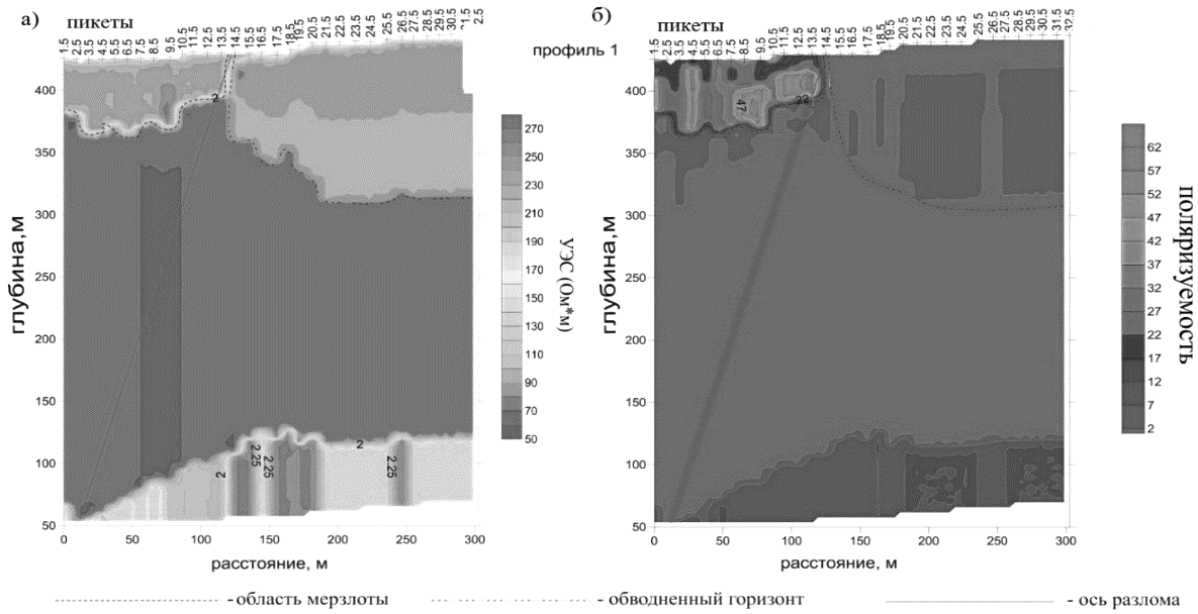


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю 1, построенный по результатам инверсии данных ЭМЗ-ВП: а) УЭС, б) поляризуемость

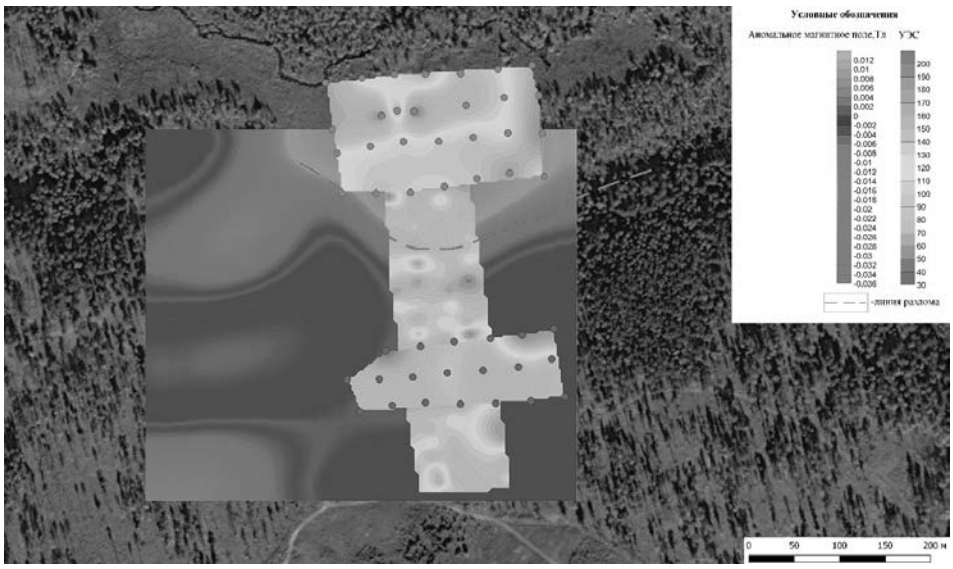


Рис. 4. Сопоставление данных ЭМЗ-ВП и магниторазведки

Таким образом, по геофизическим данным с высокой степенью надежности выделяются зоны тектонических нарушений, проявленные в верхнем структурном этаже, а также выделяются четкие границы сезонной мерзлоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cole K.S. Dispersion and absorption in dielecrtrics / K.S. Cole, R.H. Cole // J. Chem. Phys. – 1941. –v.6. – P. 341-353.
2. Бобачев А.А. Электротомография со стандартными электро- разведочными комплексами / А.А. Бобачев, И.Н. Модин // Разведка и охрана недр. 2008. №1. С. 43-47.
3. Бухалов С.В. Технология электромагнитных зондирований и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) / С.В. Бухалов, А.С. Башкеев // XV Уральская

молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. - Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2014.
4. Давыденко Ю.А. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока / Ю.А. Давыденко, П.А. Попков, А.В. Новопашина // Геофизические исследования. 2015. Т. 16, № 4. С. 73-84.
5. Крылов С.С. Геоэлектрика: Поля искусственных источников / С.С. Крылов. С.-Петербургский университет, 2004.
6. Патент на изобретение № 2574861, RU 2012134345/28 «Способ измерения и обработки переходных процессов с заземлённой линией при импульсном возбуждении электрическом диполем с целью построения геоэлектрических разрезов и устройство для осуществления этого способа с помощью аппаратно-программного электроразведочного комплекса (АПЭК «МАРС»)». Авторы изобретения: Давыденко Ю.А., Давыденко А.Ю., Пестерев. И.Ю., Яковлев С.В., Давыденко М.А., Комягин А.В., Шимянский Д.М. Приоритет изобретения от 1 августа 2012 г., Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 10 февраля 2016 г., Правообладатель: ООО «Версофт».
7. Соловейчик Ю.Г. Конечноэлементное моделирование электрического и магнитного полей вызванной поляризации в трехмерной среде / Ю.Г. Соловейчик [и др.] // Сиб. журн. индустр. матем. 14:3 (2011). С. 112–124.
8. Ткачева К.Ю. Результаты тестирования технологии электромагнитного зондирования вызванной поляризации на археологическом объекте Курминское озеро-2 в Приольхонье / К.Ю. Ткачева // XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2014.

APPLICATION RESULTS OF GEOPHYSICAL METHODS TO STUDY TECTONICALLY ACTIVE FAULT AT BILIKTUY SITE

Tirskikh Nina Igorevna, Shkirya Michael Sergeevich, Belov Vladimir Alexandrovich
Aykasheva Nadezhda Aleksandrovna, Davydenko Yuriy Aleksandrovich
Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia
Muaythai1921@yandex.ru

Abstract. Parameter determination of tectonic dislocation by geophysical methods complex, including magnetometry, electric tomography and electro-magnetic-sounding method and overvoltage is discussed in this paper.
Key words: Mean Gradient, one-dimensional inversion, geoelectric section, apparent resistivity, tectonic dislocation

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 551.24:550.34

МЕТОДИКА И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА АЛДАНСКОГО ЩИТА

Тусикова Светлана Андреевна
ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск
svetabon@list.ru

Аннотация. Приведены результаты построения и сопоставления линеаментов с геологическим строением, зонами скрытых разломов фундамента, тектонических блоков и магматических очаговых структур, контролирующих размещение эндогенного оруденения. Показано, что линеаментный анализ широко используется при прогнозе месторождений полезных ископаемых, прогнозе землетрясений, выявлении мест развития коллювиальных отложений и оползневых участков, а также прогнозе путей миграции подземных вод и оценке стабильности блоков геологической среды при проектировании и строительстве сооружений военного, гражданского и промышленного назначения. Линеаментный анализ также важен при выборе конкретных вариантов размещения социально и экологически значимых техногенных объектов.
Ключевые слова: линеаменты, линеаментный анализ, геофизические поля, цифровая модель рельефа, сейсмичность.

Сформулированная американским исследователем Уильямом Хоббсом [18] методика анализа рельефа в виде линейных структур успешно развивалась второй половине XIX века [17] для различных регионов Земли. Методика дешифрирования рельефа земной поверхности и материалов дистанционного исследования Земли и геофизических полей изложена в работах [3, 19]. Она используется с целью выявления зон скрытых разломов фундамента, а также при выборе конкретных вариантов размещения социально и экологически значимых техногенных объектов: линейного транспорта (ЛЭП, газо- и нефтепроводов), плотин, мостов, туннелей, хранилищ вредных отходов, ядерного топлива и др. [1, 17]

В геологической практике выявления и изучения линеаментов используются различные методы: прямые и косвенные, качественные и количественные [8, 7, 11]. Прямые и косвенные методы поиска, выделения и изучения линеаментов образуют вместе комплекс качественных методов поиска и выявления линеаментов, основы которых заложены в фундаментальных работах [18, 19]. Разрабатываемые модели на основе программных комплексов направлены на максимальное исключение субъективного фактора при обработке полученной информации [10, 4].

Линеаментный анализ геофизических полей позволяет выявить и проследить линейные структурные элементы геологического строения, связанные с проявлениями разрывной тектоники, контактами контрастных по свойствам геологических образований [9, 11].

Характерные признаки разломов земной коры, проявляющиеся в гравитационном и магнитном полях, представляют собой линейные индикаторы аномалий геофизических полей (индикаторы разломов), на основании которых строятся количественные модели линеаментов геофизических полей [7, 8, 9].

Методика и технология геометрических построений линейных индикаторов разломов методами статистического анализа пространственной структуры геофизических полей и рельефа представлены в работах [7, 8, 9].

Главным критерием эффективности методик линеаментного анализа является достоверность полученных результатов – подтверждаемость геологическими наблюдениями прямой связи линеаментов с разрывными нарушениями в земной коре. Опыт Черновой и др. [16] в области геолого-геоморфологического картирования для решения геолого-поисковых задач на площадях с низкой обнажённостью кристаллических пород показал недостаточность применения одного-двух методов для надёжной и достоверной интерпретации информации и необходимость использования комплекса методов геометризации и дешифрирования линеаментов.

Крупные универсальные ГИС, такие как ArcGIS, MapInfo, могут использоваться в рамках существующих технологий линеаментного анализа уже не только как программные средства сбора, упорядочения, хранения и первичной обработки пространственно-привязанных данных.

Другая тенденция заключается в разработке специализированных программ, обеспечивающих работу в рамках одной или нескольких фиксированных технологических схем линеаментного анализа, наиболее известные из них: LESSA, Alina, PhotoLin, COSBALID, LINDENS, LINEAMENT, PLANETAMONITORING [6].

Одним из наиболее устойчивых и часто используемых алгоритмов построения поля штрихов является алгоритм, изложенный в работах [1, 2, 10] и реализованный в компьютерной программе LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis). Данный алгоритм уже доказал свою эффективность на практике при обнаружении линеаментов на космических изображениях разного пространственного и яркостного разрешения.

Это методика автоматического поиска линейных элементов и анализа их ориентации, расположения. Программы, реализующие LESSA, выявляют линейные элементы рисунка и описывают их свойства так, как это принято в геологических исследованиях: розы-диаграммы, плотности линейных элементов, протяжённые линеаменты. Предоставляется и много новых видов описания: характеристики формы роз-диаграмм, векторы и линии вытянутости, сходство соседних роз-диаграмм и др. [5].

Первые результаты построения линеаментных структур показали высокую эффективность данной модели для территорий Алданского щита и Приамурья при изучении сейсмичности [12, 13, 14, 15, 20].

Наши построения показывают, что модель тополинеаментов по материалам цифровых моделей рельефа может быть применена для анализа и прогнозирования сильных землетрясений (рис. 1), что определяет практическую значимость данного направления исследований.

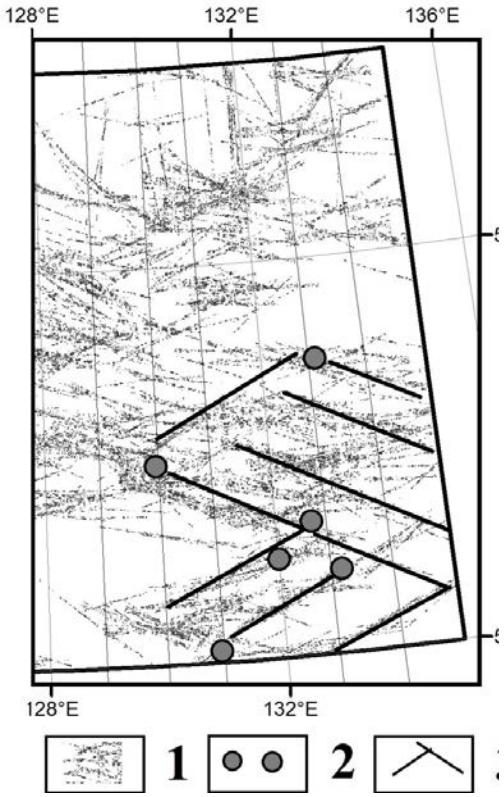


Рис. 1. Карта плотности модуля градиента рельефа восточного фланга Алдано-Станового блока (по [10] с дополнениями).
1 – индикаторы модуля градиента площади исследований;
2 – эпицентры землетрясений с магнитудой от M > 6;
3 – тополинеаменты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондур В.Г. Линеаментный анализ космических изображений сейсмоопасных территорий России / В.Г. Бондур, А.Т. Зверев, Е.В. Гапонова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 213-222.
2. Златопольский А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) / А.А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 1. С. 102-112.
3. Изосов Л.А. Линеаментный анализ при тектонических и металлогенических построениях в Япономорском регионе / Л.А. Изосов, Н.С. Ли // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 1. С. 9-14.
4. Кац Я.Г. Основы линеаментной тектоники / Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева. – М.: Недра, 1986. 140 с.
5. Линеаментный анализ: описание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.lineament.ru/index.htm. – (дата обращения: 19.01.2017)
6. Малинников В.А. Разработка алгоритмов и программ линеаментного анализа цифровых изображений земной поверхности / В.А. Малинников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 1. С. 67-73.
7. Статива А.С. Методика и технология выделения систем разломов Алданского щита / А.С. Статива, С.В. Трофименко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. Т. 17. № 3. С. 155-167.
8. Статива А.С. Построение систем разломов Алданского щита по геофизическим данным / А.С. Статива, С.В. Трофименко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. Т. 17. № 3. С. 193-198.
9. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита / С.В. Трофименко // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 3. С. 64-77.
10. Трофименко С.В. Линеаментный анализ пространственного поля сейсмичности северного сегмента Амурской микроплиты / С.В. Трофименко [и др.] // Наука и образование. 2016. № 1 (81). С. 7-13.
11. Трофименко С.В. Интерпретация статистической модели аномалий гравимагнитных полей Алданского щита / С.В. Трофименко [и др.] // Наука и образование. 2011. № 1 (61). С. 40-45.
12. Тусикова С.А. Линейные индикаторы речной сети восточного фланга Алдано-Станового блока. Обзор работ и первые результаты / С.А. Тусикова, О.А. Колягина // Инновационная парадигма устойчивого развития науки. Теория и практика. Сборник научных статей международной научно-практической конференции Санкт-Петербургского Центра Системного Анализа 15-16 декабря 2016 г. СПб.: Изд-во «КультИнформПресс», 2016. С. 20-23. http://elibrary.ru/ item.asp?id=27478567.
13. Тусикова С.А. Линейные элементы геофизических полей восточной части Алдано-Станового блока. Обзор работ и первые результаты / С.А. Тусикова, О.А. Колягина // Инновационная парадигма устойчивого развития науки. Теория и практика. Сб. науч. статей межд. науч.-практ. конф. С.-Петербургского Центра Системного Анализа 15-16 декабря 2016 г. СПб.: Изд-во «КультИнформПресс», 2016. С. 23-26. http://elibrary.ru/ item.asp?id=27478567.

14. Тусикова С.А. Системы геофизических и топографических линеаментов Алданского щита и северо-восточного сегмента Амурской микроплиты / С.А. Тусикова // Эволюция научного знания: сб. статей межд. науч. конф., Россия, Москва, 28-29 ноября 2016 г. / под ред. проф. А.А. Алпатова, Р.В. Овчаровой. М.: РусАльянс Сова, 2016. С. 106-114.
15. Тусикова С.А. Методы и технологии линеаментного анализа геофизических полей. На примере Алдано-Станового блока / С.А. Тусикова // Эволюция научного знания: сб. статей межд. науч. конф., Россия, Москва, 28-29 ноября 2016 г. / под ред. проф. А.А. Алпатова, Р.В. Овчаровой. М.: РусАльянс Сова, 2016. С. 98-105.
16. Чернова И.Ю. Автоматизированный линеаментный анализ. Учебное пособие / И.Ю. Чернова, И.И. Нугманов, Р.И. Кадыров. 2013.
17. Шереметьева Е.В. Линеаментный анализ как наиболее экологический и инвестиционно привлекательный способ оценки инженерно-геологических условий территорий проектируемого строительства / Е.В. Шереметьева [и д.] // В сб.: Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты) Молодежная конф. Мат. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. 2013. С. 204-208.
18. Hobbs W.N. Lineaments of the Atlantic border region / W.N. Hobbs // Bull. Geol. Soc Amer. 1904. Vol. 15. P. 483-506.
19. Hubbert M.K. Theory of scale models as applied to the study of geologic structures / M.K. Hubbert // Geological Society of America Bulletin. 1937. Vol. 48. P. 1459-1520.
20. Trofimenko S.V. Systems of Lineaments of Magnetic and Gravity Anomalies in the Zone of Convergent Interaction of the Amur and the Eurasian Tectonic Plates / S.V. Trofimenko [et al.] // Modern Applied Science. Vol. 9. No. 8. 2015. P. 195-203. doi:10.5539/mas.v9n8p195. URL: http://dx.doi.org/10.5539/mas.v9n3p195.

METHODOLOGY AND THE FIRST RESULTS FOR LINEAMENT ANALYSIS OF THE ALDAN SHIELD

Svetlana A. Tusikova
ITiG FEB RAS, Khabarovsk
svetabon@list.ru

Abstract. Lineament construction results are presented and comparison of lineaments with geological structure, zones of hidden basement faults, tectonic blocks and magmatic chamber structures, that control endogenous mineralization, is made. It is shown that lineament analysis is widely used in deposit forecasting and earthquake prediction and detecting areas of colluvial deposits and landslides. It is also applied for forecasting underground water migration and estimating stability of blocks of geological environment when projecting and constructing military, civil and industrial erections. Lineament analysis is of importance for areas choice of socially and ecologically significant technogenic object location.

Key words: lineaments, lineament analysis, geophysical fields, digital elevation model, seismicity

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.837

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКЕ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ (БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН)

Фаустова Анастасия Юрьевна[1], Богданович Денис Васильевич[1,2]
Башкеев Аюр Саянович[1,2], Айкашева Надежда Александровна[1,2]
Будяк Александр Евгеньевич[3], Давыденко Юрий Александрович[1,2,4]
[1]ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск
[2]ООО «Гелиос», г. Иркутск
[3]ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск
[4]ИЗК СО РАН, г. Иркутск
missmcguiness11@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрена разработка методики решения обратной трёхмерной задачи в программном комплексе «ITEM-IP» для участков со сложной геологической обстановкой на примере ЛУ месторождения Красное в Бодайбинском районе. Приведены результаты трёхмерного моделирования работ, выполненных на данном участке методом импульсной электроразведки ЭМЗ-ВП.
Ключевые слова: импульсная электроразведка, трёхмерное моделирование, поляризация, время релаксации

В августе 2016 г. сервисной геофизической компанией ООО «Гелиос» на территории ЛУ Красный проводились геофизические опытно-методические работы. Была выполнена съёмка по 6 профилям методом импульсной электроразведки ЭМЗ-ВП (электромагнитные зондирования и вызванная поляризация) и 15 профилям магниторазведки. Целью работ являлось вычленение зон сульфидизации по метаморфизованным осадочным породам черносланцевой толщи. Для всей площади работ была выполнена инверсия данных электромагнитных зондирований в рамках одномерных и трехмерных поляризующихся моделей. Одномерная инверсия выполнялась в программном комплексе «Mars1D» [4], трехмерная инверсия – в программном комплексе «ITEM-IP», использующемся для расчета трехмерных нестационарных геоэлектромагнитных полей с учетом процессов вызванной поляризации и основанном на конечном элементном моделировании. Математический аппарат, лежащий в основе этого программного комплекса, представлен в работе [7].

Идея ЭМЗ-ВП заключается в максимально полном использовании информации от переходных процессов, возбуждаемых прямоугольными разнополярными импульсами, которые применяются в традиционных методах постоянного тока. Суть технологии заключается в способе измерения и обработки данных переходных процессов, полученных от заземленного источника тока многоэлектродной заземленной приемной линией. В этом случае существует возможность одновременного определения кажущегося удельного сопротивления среды, индукционной составляющей и эффектов вызванной поляризации геоэлектрического разреза. Полученные данные затем обрабатываются с использованием робастного регрессионного анализа и в сочетании с одно- и трехмерной инверсией в рамках модели поляризующейся среды. Вместо того, что бы подавлять индукционный эффект, являющийся помехой для традиционных методов ВП, применение в ЭМЗ-ВП современной системы регистрации и обработки позволяет запи-

сать их с минимальными искажениями. Регистрация переходных процессов накладывает новые условия на систему сбора данных. Для корректной записи требуется применять АЦП с высокой частотой дискретизации (не менее 100 кГц) и соответствующим образом обрабатывать первичные данные [6].

Бодайбинский рудный район расположен в знаменитой Ленской золотоносной провинции (Патомское нагорье), известной своими запасами во всем мире и разрабатываемой с 19-го столетия [2]. Здесь расположено крупнейшее месторождение – Сухой Лог, крупные месторождения – Высочайшее, Вернинское и Чертово Корыто, а также ряд месторождений (в том числе Красное) и рудопроявлений меньшего масштаба. ЛУ месторождения Красное расположен на севере Артемовского рудного узла в 75 км северо-восточнее г. Бодайбо. Рудное поле месторождения Красное в структурном отношении представляет собой зону, осложненную складчатостью разных порядков, с субпараллельными разрывными нарушениями, и приурочено к замку антиклинальной складки. В строении месторождения участвуют породы аунакитской (R3au), вачской (R3vc) и анангрской (Van) свит. Непосредственно рудная зона месторождения приурочена к отложениям вачской свиты [1]. Месторождение Красное относится к золото-сульфидному типу руд. Золотое оруденение приурочено к зонам рассеянной и линзовидной вкрапленности пирита, реже к кварц-карбонатным жилам и прожилкам.

3D инверсия данных технологии ЭМЗ-ВП производилась с помощью программного комплекса «ITEM-IP». В качестве начального приближения был использован результат одномерной инверсии программного комплекса «Mars 1D» [3]. В «ITEM-IP» рассчитывается нормальное поле, соответствующее горизонтально-слоистой среде, и аномальное поле от неоднородных объектов. В связи с этим качественный подбор характеристик среды существенным образом влияет на итоговое распределение искомых объектов.

Подбор среды осуществлялся следующим образом: полученный в «Mars 1D» подбор усреднялся с шагом в 1000 м по *X* и *Y*, а по *Z* с шагом в 10 м. Таким образом получалось плавное изменение поляризуемости (*alpha*) и времени релаксации (T_0) по глубине для подбора характеристик *VP* (вызванная поляризация). Сообразно распределению по глубине, среда разбивалась на несколько слоев с чётко разделёнными границами по усреднённым значениям *alpha*, T_0 и ρ. При этом также осуществлялся подбор коэффициента *B* с учетом результатов подбора параметра *C* в «Mars 1D». Подбор *B* осуществляется по формуле Комарова В.А., определяющей зависимость спада ВП от времени:

$$\beta(t) = 1 - \frac{1}{\ln(B^2)} \ln\left(\frac{1+\frac{B\times t}{T_0}}{1+\frac{t}{B\times T_0}}\right), \qquad (1)$$

где *B* – коэффициент, определяющий форму спада поля, *T0* – постоянная времени; $T_0 = \frac{\tau}{\sqrt{\pi}}$ τ – время релаксации.

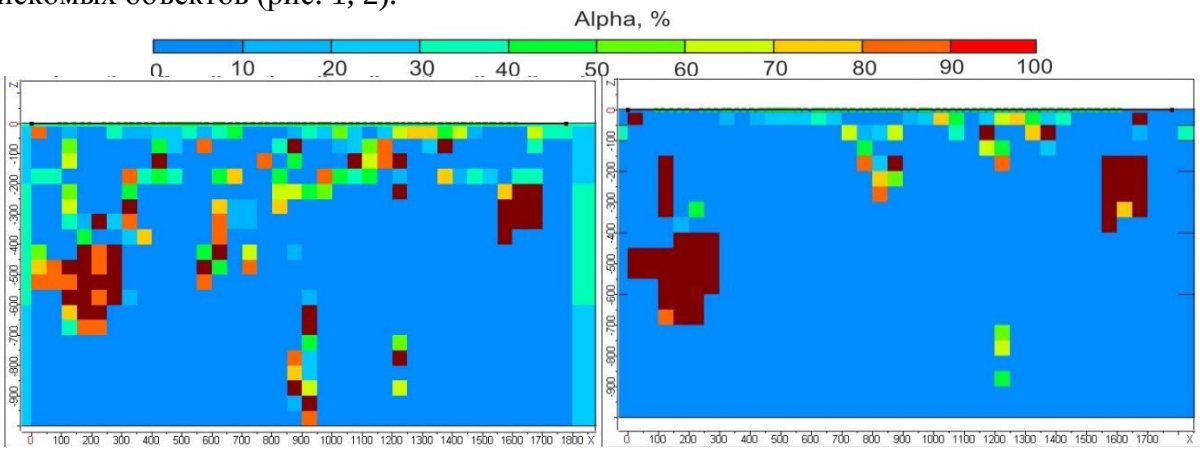
Коэффициент *B* на данном участке меняется в диапазоне от 0.01 до 10000. Параметр *B* в формуле Комарова В.А. является аналогом изменения *C* в формуле Cole-Cole [5]. Например, *C* = 0.4 соответствует $B \approx 100$, а *C* = 0.2 соответствует $B \approx 104$. Исходя из этого, можно сделать вывод, что параметр *C* обратно пропорционален коэффициенту *B*. При этом эта зависимость носит нелинейный характер.

Для определения усреднённых значений *B* для каждого слоя решалась прямая задача по подбору *VP*. Для этого в один из слоев среды подкладывался объект со свойствами слоя для исключения наличия обусловленного им аномального поля и, уточняя *B*, кривая спада поля подгонялась под среднее значение поля от среды в экспериментальных значениях. Приемлемым результатом принималось условие, чтобы теоретические кривые укладывались в границы экспериментальных кривых.

Для того, чтобы убедиться можно ли получить более точные значения параметров среды, также производилась инверсия характеристик полученной усредненной среды. Принимая характеристики усредненной среды за начальное приближение, горизонтальные слои разбивались на протяженные по *X* и *Y* объекты с шагом по глубине 10 м. В результате процедуры инверсии получалось распределение слоёв, отличное от параметров модели усредненной среды. После этого путем решения прямой задачи, как и в предыдущем случае, проводилась оценка полученной модели.

После подбора свойств среды, осуществлялся подбор свойств и положения искомых объектов. Для этого результаты одномерной инверсии «Mars 1D» также использовались в качестве начального приближения. Вся площадь поиска разбивалась по *X, Y, Z* с шагом в 50 м. Если в ячейку не попадали результаты подбора одномерной инверсии, то она принимала свойства среды. Решение задачи подбора свойств объектов в трехмерной геометрии выгодно отличается от одномерного случая тем, что анализируется отклик среды во всем объёме, что позволяет найти объекты, не лежащие непосредственно под профилями. Таким образом, если поисковому алгоритму программы необходимо, чтобы кривые сходились, но при этом он ничего не может обнаружить непосредственно под профилем, то тогда он сбоку от измерительной системы располагает объект с необходимыми свойствами. В результате решается задача в объёме в целом, в отличие от одномерной инверсии, где искомый объект располагается непосредственно под профилем и наделяется дополнительными свойствами, необходимыми для учета отклика объемной среды. В этом состоит принципиальное ограничение по точности найденного решения в трехмерной среде от одномерного приближения.

Решая задачу для двух сред, полученных простым усреднением одномерного подбора и путем последующей инверсии, были получены следующие распределения искомых объектов (рис. 1, 2).



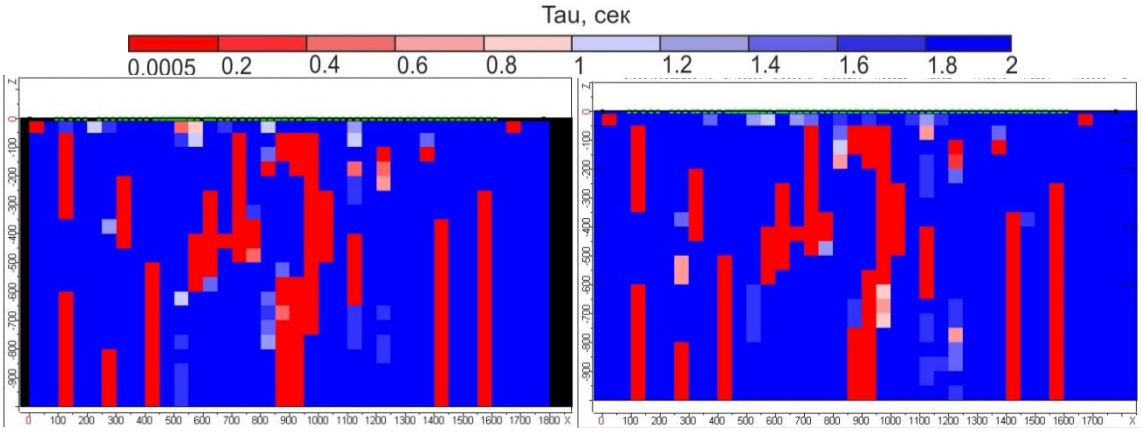
Усредненная среда *Инвертированная среда*

Рис. 1. Распределение параметра *alpha* (поляризуемость) на втором участке в разрезе *Y* = -10 m

Видно, что для усреднённой среды объекты имеют более плавное распределение поляризуемости по сравнению со случаем инвертированной среды, где объекты более контрастны. При этом в распределении времени релаксации T_0 сильных изменений не произошло.

Для количественной оценки полученных решений, была решена прямая задача по расчету полей от найденных объектов с учетом их поляризационных характеристик и УЭС. Затем для полученных теоретических и экспериментальных кривых отклика среды было рассчитано среднее квадратичное отклонение по всему временному диапазону. Для случая усредненной среды данное значение составило 6.3671 усл. ед., тогда как для среды, полученной в результате инверсии, это значение составило 6.4097 усл.

ед. Вместе с тем фактом, что для усредненной среды распределение найденных объектов носит более плавный характер, можно сделать вывод, что усреднённая среда более соответствует геологическому описанию, нежели инвертированная среда, где не видно ярко выраженных складчатостей.



Усредненная среда *Инвертированная среда*

Рис. 2. Распределение параметра T_0 (время релаксации) на втором участке в разрезе Y = -10 m

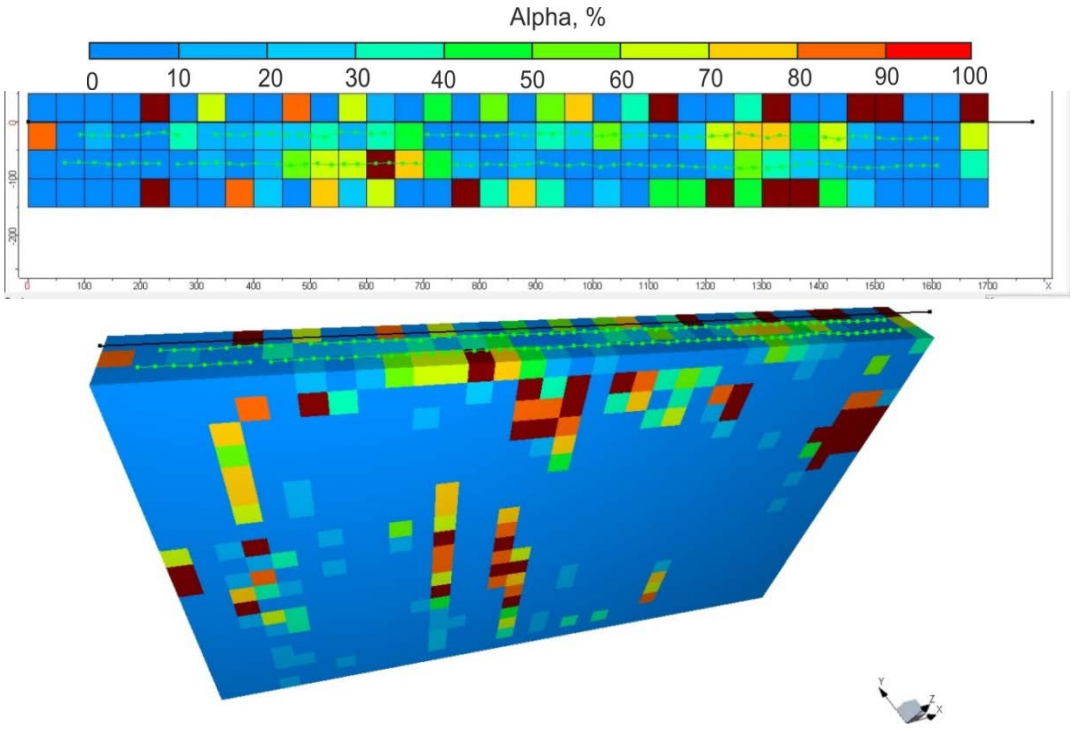


Рис. 3. 3D-модель горизонтально-слоистой вмещающей среды с распределением поляризующихся объектов, полученных в результате процедуры инверсии на втором участке

По результатам комплексного анализа данных ЭМЗ-ВП выделяется складчатая структура и тектонические нарушения исследуемого участка с хорошо выделяющимися субвертикальными поляризующимися объектами. В виду того, что полученный результат хорошо согласуется с геологическим описанием площади поиска, можно говорить о применимости метода трехмерной инверсии данных ЭМЗ-ВП для анализа участков со сложной геологической обстановкой. По аномалиям поляризуемости в результате про-

цедуры трехмерной инверсии, являющейся наиболее эффективным подходом к интерпретации данных нестационарных электромагнитных полей, были выделены перспективные участки золото-сульфидных оруденений и заложены проектировочные скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов И.М. Отчет о результатах геологоразведочных работ 2000-2004 г. с подсчетом запасов в пределах золоторудного месторождения «Копыловское» по состоянию на 1.09.2004 / И.М. Аксенов, И.Ю. Кангаров, Н.В. Вилор // (лицензия ИРК 01466 БР). Т. 1. ООО «Угрюм-река». Бодайбо–Иркутск, 2004. 92 с.
2. Буряк В.А. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования) / В.А. Буряк, Н.М. Хмелевская. – Владивосток: Дальнаука. 1997. 156 с.
3. Давыденко Ю.А. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока / Ю.А. Давыденко, П.А. Попков, А.В. Новопашина // Геофизические исследования, Т. 16, № 4, 2015. – С. 73-84.
4. Пестерев И.Ю. Программа одномерной инверсии «Mars1D» // Программа для ЭВМ, RU, № 2012618705. 2012.
5. Cole K.S. Dispersion and absorption in dielecrtrics / K.S. Cole, R.H. Cole // Journal of Chemical Physics, 6, 1941. P. 341-353.
6. Nelder J.A. A simplex method for function minimization / J.A. Nelder, R. Mead // Computer Journal, Vol. 7, 1965. – P. 308-313.
7. Persova M.G. Methods and algorithms for reconstructing three-dimensional distributions of electric conductivity and polarization in the medium by finite-element 3D modeling using the data of electromagnetic sounding / M.G. Persova [et al.] // Izvestiya. Physics of the Solid Earth, 49(3). 2013. P. 329-343.

THREE-DIMENSIONAL MODELING DATA RESULTS OF ELECTROMAGNETIC SOUNDING AND MAGNETIC SURVEY IN GOLD-SULFIDE MINERALIZATION SEARCH (BODAIBO DISTRICT)

Anastasiya Yu. Faustova[1], Denis V. Bogdanovich[1,2], Ayur S. Bashkeev[1,2]
Nadezhda A. Aykasheva[1,2], Aleksandr E. Budyak[3], Yuri A. Davidenko[1,2,4]
[1]FSBEI of Higher Education "INRTU", Irkutsk
[2]LLC "Gelios", Irkutsk
[3]A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk
[4]Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk
missmcguiness11@gmail.com

Abstract. This article describes development of solving inverse three-dimensional problem methods in software package «ITEM-IP» for areas with complex geological setting on the example of LS Red deposit in Bodaibo district. Results of three-dimensional modeling of work performed in this area by pulsed electric exploration EMS-IP.

Key words: pulse electric exploration, 3D modeling, polarization, relaxation rate

УДК 550.34

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РОЕВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ХРЕБТА ГАККЕЛЯ

Федоренко Ирина Валентиновна
ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск
fedorenko.irina.v@yandex.ru

Аннотация. Хребет Гаккеля является одним из сейсмически активных подводных хребтов Арктики. Ранее с помощью кластерного анализа на нем выявлена роевая сейсмичность. В данной статье проводится анализ видимых частот роевых землетрясений из района хребта Гаккеля по данным станции ZFI2 Архангельской сейсмической сети.
Ключевые слова: вулканизм, сейсмическая станция, рой землетрясений, видимая частота, полосовой фильтр

Хребет Гаккеля расположен в Северном Ледовитом океане на границе Евразийской и Северо-Американской литосферных плит. Он характеризуется ультрамедленным спредингом, скорость которого меняется от 12.8 мм/год (район 83°N, 6°W) до 6.5 мм/год (78.5°N, 128°E) [1]. Ранее зарубежными учеными по телесейсмическим данным был проведен кластерный анализ землетрясений хребта, выявлены роевые последовательности [2] (рис. 1). На основе результатов регионального мониторинга, проводимого лабораторией сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА РАН, также осуществлен кластерный анализ землетрясений хребта Гаккеля за период 01.12.2011-31.01.2015. Выявлены три роевые последовательности: одна в западной вулканической зоне (в районе 1°E) и две в восточной вулканической зоне (в районе 45°E и 75°E), как показано на рисунке (рис. 1) [3]. Проведено сопоставление СВАН-диаграмм роевых событий со спектрами других землетрясений хребта. Выявлен их относительно низкочастотный состав. Целью данной работы является изучение характера роевых процессов по изменению амплитуд видимых частот землетрясений.

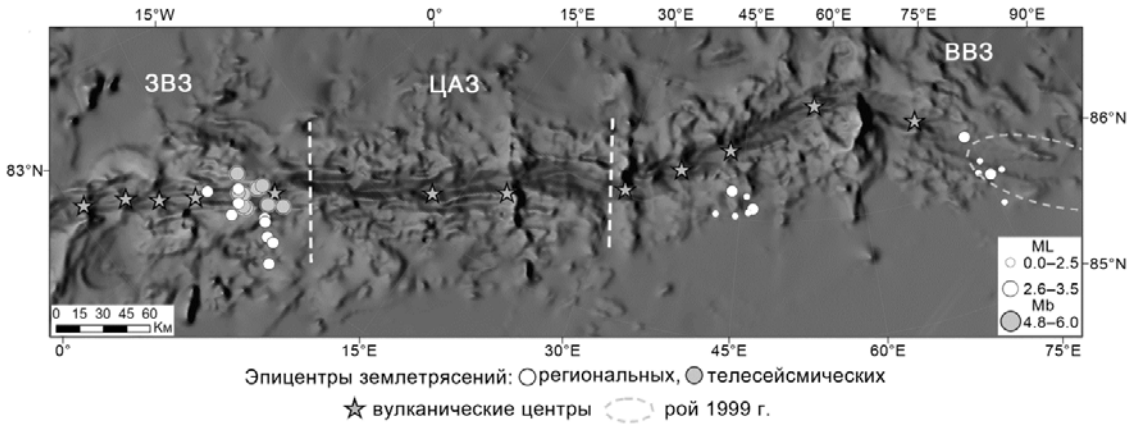


Рис. 1. Карта распределения эпицентров трех крупных кластеров. Зоны: ЗВЗ – западная вулканическая, ЦАЗ – центральная амагматическая, ВВЗ – восточная вулканическая; вулканические центры (звездочки) по данным [1]

Проведена оценка видимых частот P и S волн роевых событий. Наибольшая энергия для большинства землетрясений проявляется на частотах до 16 Гц. Для анализа записи P и S волн были отфильтрованы в диапазонах 1-4 Гц, 4-8 Гц, 8-12 Гц, 12-16 Гц и

принято, что частотный диапазон является видимым, если отношение сигнал/шум превышает 1.5 (рис. 2).

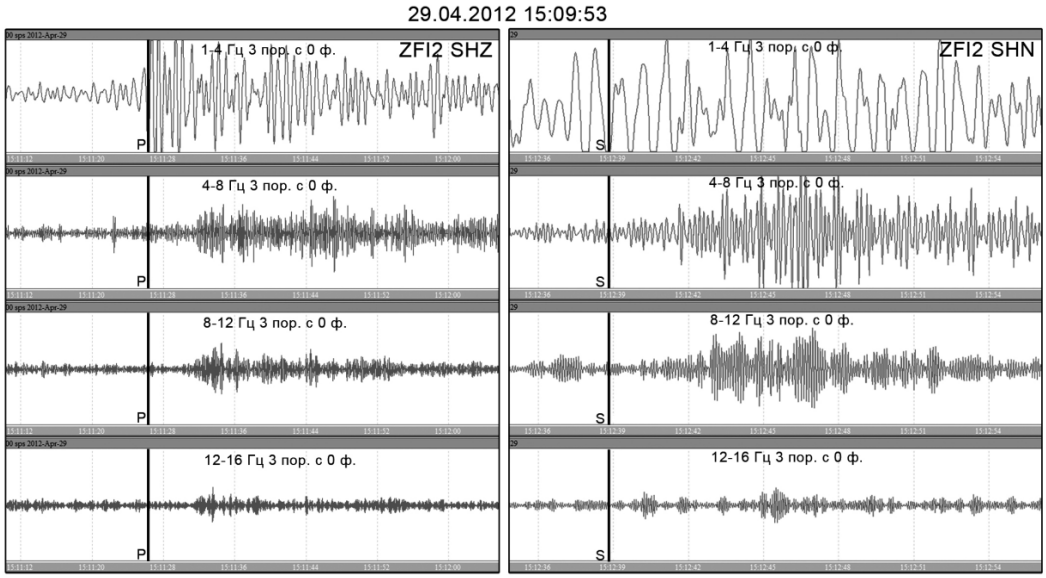


Рис. 2. Фильтрация P и S волн землетрясения, произошедшего 29.04.2012 в 15:09:53 в районе 1°E

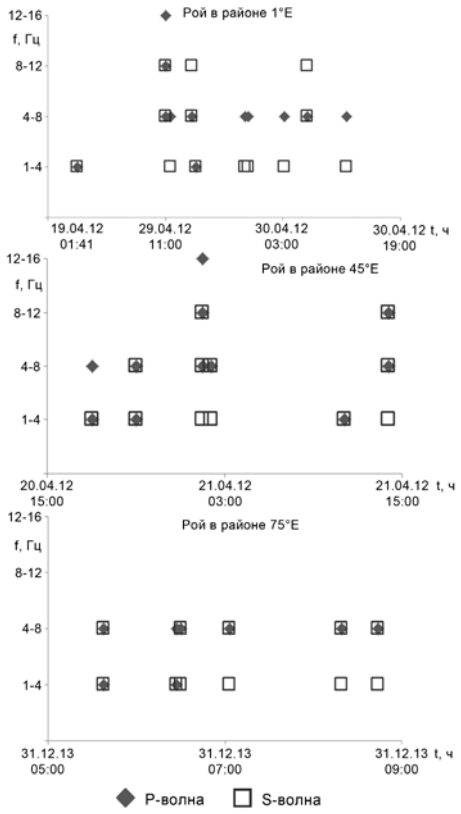


Рис. 3. Графики распределения максимальной амплитуды P и S волн роевых землетрясений во времени

При этом для анализа в группу землетрясений в районе 1°E добавлено ещё одно, произошедшее 19.04.2012 в 01:41:39 в том же районе с ML=4.0. Возможно, оно спровоцировало последующие события. Обнаружено одно землетрясение, произошедшее 29.04.2012 в 15:09:53, P-волна которого в диапазоне 1-4 Гц приходит на 5 с. раньше, чем на более высоких частотах (рис. 2).

Такая особенность не обнаружена больше ни в одном другом роевом событии. Для каждого частотного диапазона рассчитаны средние значения амплитуд волн P по каналу SHZ и S по каналам SHN и SHE. В табл. 1 приведены результаты расчета для P-волны роя, произошедшего в районе 1°E.

Далее построены графики распределения максимальной амплитуды P и S волн во времени (рис. 3). Для S волны взята длина результирующего вектора составляющих N и E. В обоих роях апреля 2012 г. наблюдается смена доминирующей частоты как P, так и S волн. Распределение частот в декабре 2013 г. более равномерно.

Таким образом, роевая сейсмичность на хребте Гаккеля представляет собой сложный процесс. Смена доминирующих частот может свидетельствовать об изменении размера области разрыва.

Таблица 1

Анализ Р-волн роевой группы землетрясений в районе 1°E

Событие	ML	Средняя амплитуда видимого диапазона частот на ZFI2 SHZ, мкм/с, при полосовой фильтрации 3 порядка с нулевой фазой			
		1–4 Гц	4–8 Гц	8–12 Гц	12–16 Гц
19.04.2012 01:41:39	4.0	0.0323	0.0178	0.0062	0.0036
29.04.2012 11:01:07	2.8	–	0.0009	0.0006	0.0006
29.04.2012 11:40:47	3.1	–	0.0036	0.0011	0.0008
29.04.2012 14:34:44	3.0	–	0.0015	0.0010	0.0006
29.04.2012 15:09:53	3.2	0.0504	0.0021	0.0011	0.0007
29.04.2012 21:51:40	3.3	–	0.0045	0.0015	0.0010
29.04.2012 22:15:45	3.1	–	0.0021	0.0007	–
30.04.2012 03:07:00	3.0	–	0.0027	0.0009	0.0007
30.04.2012 06:16:23	2.8	–	0.0015	0.0010	0.0008
30.04.2012 11:35:05	3.2	–	0.0035	0.0016	0.0010

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-35-00020.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cochran J.R. Seamount volcanism along the Gakkel Ridge, Arctic Ocean / J.R. Cochran // Geophys. J. Int. – 2008. – V. 174. – P. 1153-1173.
2. Schlindwein V. Teleseismic earthquake swarms at ultraslow spreading ridges: indicator for dyke intrusions? / V. Schlindwein // Geophys. J. Int. – 2012. – V. 190. – P. 442-456.
3. Федоренко И.В. Пространственно-временное распределение землетрясений из района хребта Гаккеля / И.В. Федоренко // XI Международная сейсмологическая школа: материалы докладов – Обнинск, 2016. С. 346–349.

SPECTRAL FEATHURES OF SEISMIC SWARMS OF THE GAKKEL RIDGE

Fedorenko Irina
FCIARctic, Arkhangelsk
fedorenko.irina.v@yandex.ru

Abstract. The Gakkel ridge is one of seismically active underwater Arctic ridges. Earlier seismic swarms were discovered there using cluster analysis. Review of visible frequencies of the Gakkel Ridge swarm earthquakes is made in this article. Data of ZFI2 station of Arkhangelsk seismic network were used here.

Key words: earthquake, volcanism, seismic station, spectral-temporal analysis, band-pass filter

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.34.06

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ЛЕДНИКОВ ШПИЦБЕРГЕНА

Федоров Андрей Викторович, Асминг Владимир Эрнестович
Ганнибал Андрей Евгеньевич
КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты
Andrey@krsc.ru, AsmingVE@mail.ru, han_a_e@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты наблюдений за сейсмическими процессами, генерируемыми деструкцией ледников архипелага Шпицберген по данным местной сети станций за шестилетний период с 2010 по 2015 год. Приведены результаты обработки, получено временное и пространственное распределение событий. Выявлены области наибольшей деструктивной активности ледников и строгий сезонный характер их активизации.

Ключевые слова: льдотрясение, ледник, деструкция, сейсмический сигнал, детектирование, локация

Введение

Наблюдения за активностью ледников, темпами деструкции и изменением баланса масс важны как с целью фундаментальных климатологических исследований, так и управления рисками при ведении хозяйственной деятельности вблизи данных объектов. В высоких широтах наблюдения за деструкцией выводных ледников также представляют интерес с точки зрения обеспечения безопасности судоходства и промышленного освоения шельфа. Однако наибольший интерес наблюдения за вариациями темпов деструкции ледников в полярных районах могут представлять для оценки влияния кратко- и среднесрочных изменений климата планеты на окружающую среду.

Сейсмический мониторинг представляет собой относительно дешевый, круглогодичный и всепогодный инструмент для решения задачи наблюдения за ледниками. В данной работе приведены результаты ретроспективной обработки записей сейсмических станций, расположенных на архипелаге Шпицберген, с применением автоматических программ обнаружения и локации сейсмических событий, ассоциируемых с процессами активности ледников.

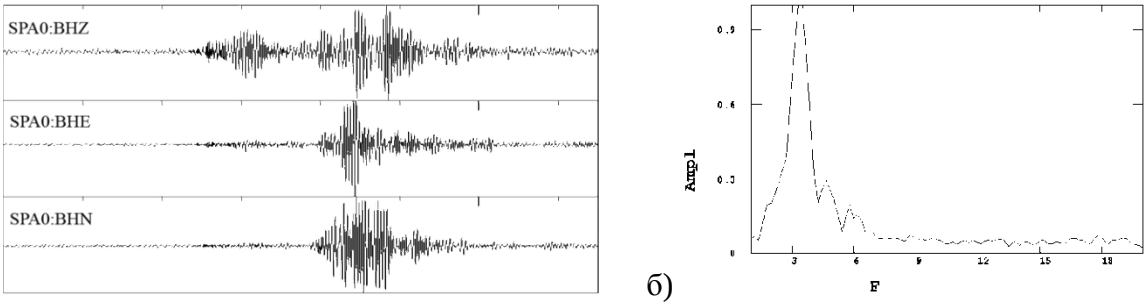
Архипелаг Шпицберген представляется авторам как один из наиболее удачных для наблюдения за ледниками регионов планеты. Более 60% суши архипелага покрыто ледниками. Здесь представлены практически все типы ледников, в том числе и наиболее активные – пульсирующие, способные перемещать огромные массы льда со скоростью до сотен метров в сутки. Также на архипелаге присутствует относительно развитая, для столь удаленного и малонаселенного региона, сеть сейсмического мониторинга, включающая в себя 6 сейсмических станций и одну сейсмическую группу.

Использованные данные и методы

К настоящему времени известно, что процессы активации и деструкции ледников могут генерировать сейсмические сигналы. Примеры и описания регистрации событий данного класса встречаются в литературе с 70-х годов прошлого столетия [1, 2, 3]. Наиболее распространенными механизмами генерации ледниковых сейсмических событий (льдотрясений) являются: отколы больших блоков льда от кромки ледника (калвинг) [4], растрескивание тела ледника (кревайсинг) [5], подвижки части ледникового тела относительно ложа, либо относительно нижнего слоя самого ледника (сер-

джинг) [6, 7]. Так же источником сейсмических сигналов могут служить реверберации в дренажных системах ледника или обрушения внутриледниковых полостей.

Из всех вышеперечисленных механизмов наибольший вклад в сейсмичность, ассоциируемую с ледниками, вносят отколы крупных блоков от края ледника, в случае выводных ледников приводящие к образованию айсбергов. Отличительной чертой таких сейсмических событий является практически монохромная запись сигнала с подавляющим доминированием частот в диапазоне 2-5 Гц, для локальных и региональных удалений от источника. Пример записи такого сейсмического события и амплитудный спектр приведены на рисунке (рис. 1).



а) б)

Рис. 1. Пример записи сейсмического события, ассоциируемого с деструкцией ледника (а) и амплитудный спектр записи (б)

На данном этапе исследования для анализа был взят шестилетний период с 2010 по 2015 гг. Для обработки были выбраны три станции, расположенные в северной, центральной и южной частях о. Западный Шпицберген, тем самым позволяющие контролировать большую часть суши архипелага. Карта с расположением используемых станций приведена на рисунке (рис. 3).

Выбранные для обработки станции KBS, SPITS и HSPB принадлежат соответственно консорциуму IRIS, норвежской сейсмологической службе NORSAR и Институту геофизики польской академии наук. Непрерывные данные станций за весь период получены с сервера международной некоммерческой сейсмологической организации Orfeus.

Для автоматического обнаружения и локации событий, ассоциируемых с процессами деструкции ледников, была модифицирована программа, использующаяся в КоФ ФИЦ ЕГС РАН для детектирования и локации сейсмических событий по одиночной станции [8]. Программа была нацелена на обнаружение низкочастотных событий и дополнена последующей процедурой частотной дискриминации. Для этого, для каждого обнаруженного события рассчитывался параметр средней частоты записи, нормированный на амплитуду сигнала. Таким образом, для дальнейшего анализа отбирались лишь события со значением средней частоты менее 5.5 Гц. Детектирование вступлений фаз сейсмических волн выполнялось в программе по схеме STA-LTA детектора по трассе SNR. Тип волны и направление на эпицентр определялись по поляризации объемных волн. Стоит отметить, что сейсмические сигналы, генерируемые процессами деструкции ледника, зачастую имеют довольно сложный, не схожий с записями тектонических событий, вид в силу сложного, не одномоментного механизма их генерации. В результате чего автоматическая локация таких сейсмических событий по одиночной станции может содержать значительные неточности определения координат эпицентров, а также вести к большому числу пропущенных событий. Ручная проверка результатов работы детектора-локатора показала, что для большинства обнаруженных событий точность определения координат эпицентра была приемлемой, однако, большое число реальных сейсмических событий было пропущено. Несмотря на это полученная

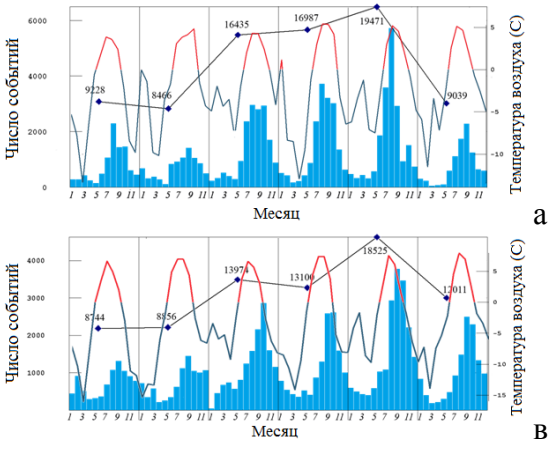
выборка является вполне представительной и позволяет получить представление о пространственном распределении данного типа сейсмических событий в районе архипелага Шпицберген.

Для получения максимально полной выборки сейсмических событий, ассоциируемых с деструкцией ледников, был создан более простой детектор низкочастотных событий, лишенный функционала локации эпицентров. Принцип обнаружения льдотрясений в данном детекторе основан особенности их спектрального состава – подавляющем доминировании низких частот в спектре. Предложенный детектор анализирует участки записи, где отношение сигнал\шум превышает заданный порог. Для дальнейшей обработки выбираются фрагменты, в которых амплитуда сигнала в целевой полосе частот (2-5 Гц) превышает амплитуду сигнала в более высокой полосе 5-10 Гц в 1.5 и более раз. Результаты детектирования были просмотрены человеком-интерпретатором с целью удаления нецелевых событий. Таким образом, было получено детальное временное распределение числа сейсмических событий, ассоциируемых с процессами деструкции ледников.

Временное распределение

На представленных ниже рисунках приведены графики распределения числа обнаруженных льдотрясений как по месяцам года, так и по годам за весь период обработки данных, также приводятся графики среднемесячной температуры воздуха в районах расположения сейсмических станций (рис. 2а-в).

Как видно из приведенных графиков, процессы сейсмической активации ледников Шпицбергена проявляют строгую сезонность. Однако, обращает на себя внимание, что рост числа событий на станциях KBS и HSPB начинается синхронно с установлением положительных температур воздуха, достигает максимума в августе-сентябре – в период максимума среднесуточных температур, в то время как для станции SPITS в данном поведении наблюдается задержка примерно в месяц.



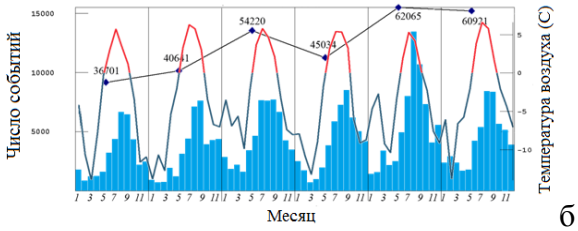


Рис. 2. Графики распределения числа льдотрясений по времени (по месяцам года и по годам) в сопоставлении с графиком температуры воздуха для станций а) HSPB б) KBS в) SPITS

Анализ графиков годового изменения числа льдотрясений на рисунке 2 также показывает высокое подобие кривых, построенных для разных станций, и свидетельствует о значительных вариациях интенсивности процессов деструкции ледников от года к году. Так, к примеру, в 2014 г. для всех станций наблюдается максимум числа зарегистрированных льдотрясений, это число более чем в два раза превышает аналогичный параметр, полученный для 2010 г. по станциям HSPB и SPITS.

Пространственное распределение

Как упомянуто выше, пространственное распределение числа льдотрясений получено при помощи программы автоматического детектирования и локации. По ре-

зультатам обработки шестилетнего массива данных трех станций программа обнаружила более 50 000 событий, ассоциируемых с динамикой ледников. Для отображения такого числа событий наиболее удобным представляется использование карт плотностей эпицентров. На рисунке приведена карта плотности распределения эпицентров льдотрясений арх. Шпицберген за период 2010-2015 гг. по данным станций KBS, SPITS, HSPB (рис. 3).

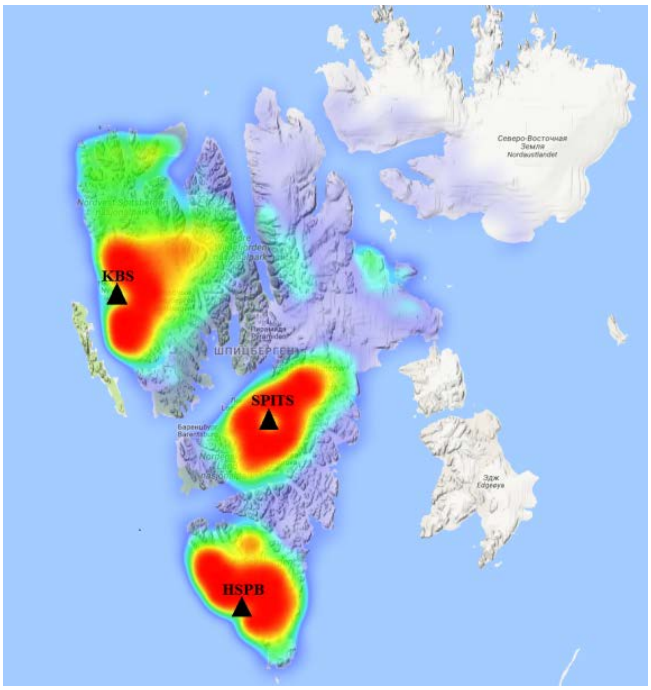


Рис. 3. Карта распределения плотности эпицентров льдотрясений, обнаруженных за период 2010-2015 гг.

Как видно из карты, представленной на рисунке 3, основная часть эпицентров локализуется вблизи использованных в исследовании сейсмических станций. Этому есть два объяснения: выбранные сейсмические станции расположены вблизи крупнейших активных ледников архипелага; энергии подавляющего числа льдотрясений настолько малы, что сейсмические сигналы могут быть зарегистрированы лишь ближайшими станциями. Характерной чертой для большинства обнаруженных областей ледниковой сейсмической активности является приуроченность эпицентров к кромкам ледников. Однако, к северу от станции HSPB существует ареал проявлений сейсмичности, приуроченный к зоне питания ледника. Рассмотрим сейсмичность в данном районе подробнее. Как видно из рисунка, представляющего распределение плотности эпицентров льдотрясений (рис. 4), обнаруженных по станции HSPB, по годам, в 2010 и 2011 гг. к северу от станции в зоне питания ледника Пенк существовала область проявлений ледниковой сейсмичности. Анализ временного распределения числа событий из этой области (рис. 5) показывает, что практически все события произошли в узком временном окне с марта по апрель 2010 года и с января по февраль 2011 года, то есть в период, когда в данном районе наблюдаются устойчивые отрицательные температуры. В качестве гипотезы выдвинуто предположение о приуроченности этих событий к процессам зимнего серджинга.

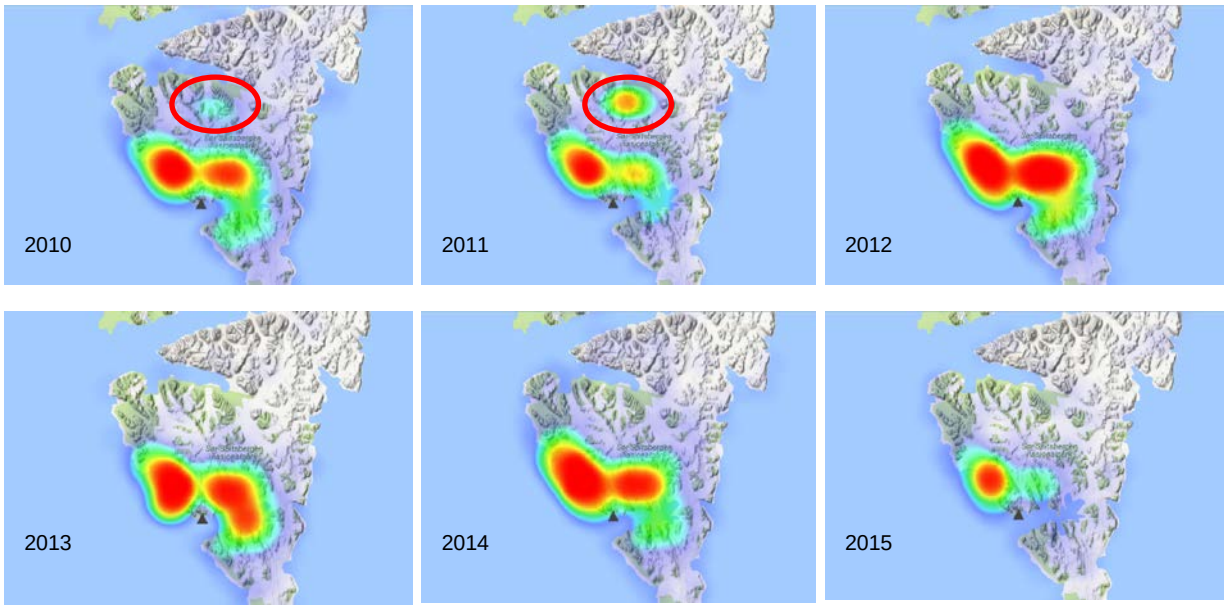


Рис. 4. Распределение плотности эпицентров льдотрясений, обнаруженных по станции HSPB по годам (2010-2015).

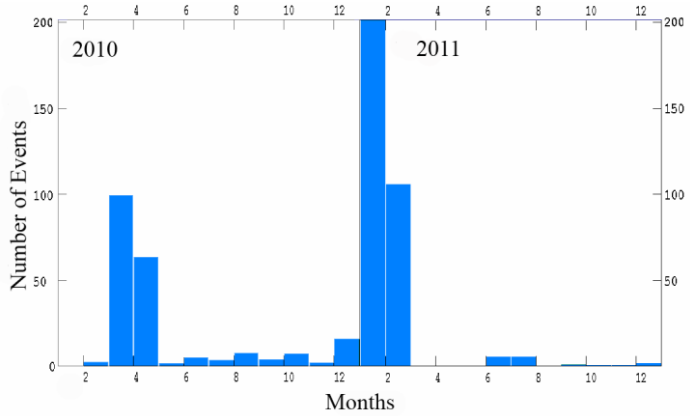


Рис. 5. Распределение числа льдотрясений по времени за 2010-2011 гг. из области ледника Пенк

Заключение

С применением новых программных средств автоматической обработки данных одиночных трехкомпонентных станций получены новые данные о сейсмических процессах, ассоциируемых с деструкцией ледников арх. Шпицберген. Выявлены области генерации данных событий в южной, центральной и северо-западной частях о. Западный Шпицберген. Получено распределение числа льдотрясений по времени за период с 2010 по 2015 гг.

По сейсмическим данным выявлены два типа активизации ледников. Первый тип связан с процессами деструкции зоны абляции (растрескивание с обрушением стенок, калвинг), что подтверждается результатами локации эпицентров и особенностями спектрального состава событий. Данный тип льдотрясений имеет регулярный годовой ход, с резким увеличением числа событий в период положительных температур воздуха и спадом активности с наступлением периода отрицательных температур. Второй выявленный тип льдотрясений характеризуется нерегулярными активизациями в зимний период, а локализация эпицентров приурочена к зоне питания горно-долинных ледников. Природа активизации пока полностью не выяснена, но можно предполагать, что она обусловлена импульсными подвижками (серджингом) тела ледника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neave, K.G., and Savage, J.C., 1970, Icequakes on Athabasca Glacier // Journal of Geophysical Research, v. 75, p. 1351–1362, doi: 10.1029/JB075i008p01351.
2. Vanwormer D., Berg E. Seismic evidence for glacier motion // J. Glaciol. 1973. V. 12. P.259–265
3. Weaver C.S. and Malone S.D., Seismic evidence for discrete glacier motion at the rock - ice interface // Journal of Glaciology, Vol. 23, No. 89, 1979
4. O'Neel, S., Marshall, H.P., McNamara, D.E., and Pfef-fer, W.T. Seismic detection and analysis of icequakes at Columbia Glacier, Alaska // J. Geophys. Res., 2007, 112, F03S23, doi:10.1029/2006JF000595.
5. Blankenship D.D., Anandakrishnan S., Kempf J.L., and Bentley C.R.: Microearthquakes under and alongside Ice Stream B, Antarctica, detected by a new passive seismic array, Ann. Glaciol., 1987, 9, C. 30–34.
6. Roush J.J., Lingle C.G., Guritz R.M., Fatland D.R., Voronina V.A. Surge-front propagation and velocities during the early- 1993–95 surge of Bering Glacier, Alaska, U.S.A., from sequential SAR imagery // Ann. Glaciol. 2003. V. 36. P.37–44.
7. Bevington A., Copland L. Characteristics of the last five surges of Lowell Glacier, Yukon, Canada, since 1948 // Journal of Glaciology. 2014. V. 60, N 219. P. 113-123. doi: 10.3189/2014JoG13J134.
8. Асминг В.Э., Фёдоров А.В. Возможности применения автоматического детектора-локатора сейсмических событий по одиночной станции для детальных сейсмологических наблюдений // Сейсмические приборы, 2014. Т. 50. № 3. С. 19-29.

SEISMIC EVIDENCE OF SPITSBERGEN GLACIERS ACTIVITY

Andrey Fedorov, Vladimir Asming, Andrey Hannibal
KB GS RAS Apatity
Andrey@krsc.ru, AsmingVE@mail.ru, han_a_e@mail.ru

Abstract. The paper presents results of seismic glacier related events observations on Svalbard archipelago. Processing results of 6-years data set for three permanent stations of the local seismic network are provided. Temporal and spatial distributions of glacier-related events are obtained. Areas of the greatest glacier activity and strong seasonality are detected.
Key words: icequake, glacier, glacier destruction, seismic signal, detection, location

© ГИ УрО РАН. 2017

УДК 550.360:551.583

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЙ СВОБОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВОДОНАПОЛНЕННОЙ ТРУБЕ С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОЙ СЪЕМКИ

Хацкевич Богдан Дмитриевич
ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург
disaybl@yandex.ru

Аннотация. Описаны результаты экспериментальных исследований свободной тепловой конвекции, возникающей в вертикальной водонаполненной трубе (скважины) в условиях положительного температурного градиента. Приводится описание лабораторной установки, моделирующей скважинные условия. Тепловая структура конвективных течений оценивается с помощью инфракрасной съемки внешних стенок трубы.
Ключевые слова: свободная тепловая конвекция, буровая скважина, лабораторная установка, инфракрасная съемка

Температурные измерения в буровых скважинах являются одним из главных методов геотермических исследований. Появление современных датчиков, аппаратуры и систем регистрации, обеспечивающих высокую точность, стабильность, пространственное и временное разрешение температурных измерений, позволило существенно расширить сферу применения скважинной термометрии. Однако, эти возможности не всегда могут быть реализованы в полной мере, вследствие влияния свободной тепловой конвекции (СТК) жидкости в скважинах. Нестационарный характер СТК ведет к температурным вариациям, что является значительным источником погрешностей при проведении высокоточных температурных измерений в скважинах. Поэтому изучение структуры СТК представляет не только научный, но и практический интерес.

В водонаполненных буровых скважинах СТК возникает, когда вследствие положительного температурного градиента более теплый и, следовательно, более легкий флюид располагается ниже более холодного. Восходящие и нисходящие потоки стремятся выровнять плотностные и температурные неоднородности, однако горные породы поддерживают положительный градиент.

Возникновение и развитие СТК определяется значением безразмерного числа Рэлея. Для скважинных условий (вертикальный цилиндр):

$$Ra = \frac{g\beta r^4}{\nu a} G, \qquad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, β – коэффициент объемного температурного расширения, ν – кинематическая вязкость, a – температуропроводность, r – радиус скважины, G – температурный градиент. Входящие в это соотношения параметры β, ν, a, в свою очередь, зависят от температуры. Конвекция возникает, когда Ra превышает некоторое критическое значение Ra_{crit}. Последнее для скважины лежит в пределах 68-216 в зависимости от отношения теплопроводностей заполняющей скважину жидкости и окружающего ее массива λ_f/λ_m [1]

Организовать систему наблюдений в реальной буровой скважине, позволяющую детально оценить структуру течений при различных числах Рэлея и температурных градиентах, весьма проблематично. Известные лабораторные методы исследования структуры СТК довольно приблизительно имитируют реальные условия буровой сква-

жины. Обычно используется стеклянная водонаполненная труба, внешние стенки которой теплоизолируются, а необходимый температурный градиент обеспечивается подогревом воды в нижней и охлаждением верхней части трубы [3, 4, 5]. В реальных же скважинах температурный градиент поддерживается именно теплообменом с породами. Информацию о характере СТК получают либо с температурных датчиков, внедренных непосредственно в трубу [3], либо – путем наблюдения (фото и видео регистрации) за движением непрозрачных частиц через стеклянные стенки [3, 4, 5]. В первом случае детальность получаемой картины ограничивается количеством датчиков, внедренных в трубу. Кроме того, сами датчики могут значительно исказить картину СТК. Второй способ показал себя эффективным для оценки скоростей течений, однако дает весьма невнятную картину их пространственной организации. Нами разработан лабораторный метод моделирования СТК, позволяющий преодолеть перечисленные недостатки.

В основе метода исследования структуры течений СТК лежит инфракрасная визуализация температурных аномалий, возникающих на внешних стенках вертикальной водонаполненной керамической трубы, в которой поддерживаются условия конвекции. Опытным путем было установлено, что температурные возмущения внутри трубы лучше всего передаются на ее внешние стенки при использовании керамики. Метод был реализован в лабораторном стенде (рис. 1).

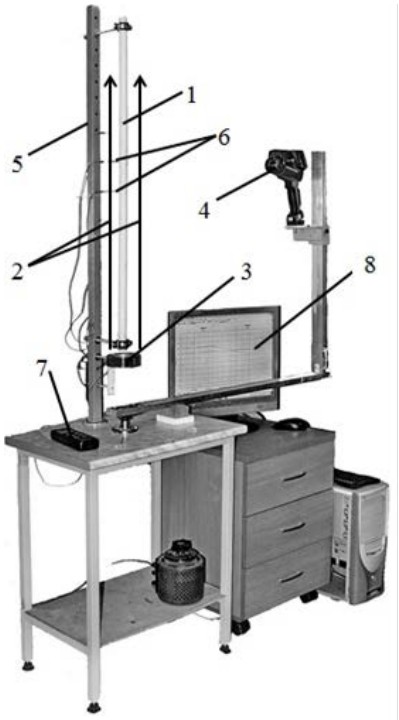


Рис. 1. Лабораторный стенд для моделирования СТК в водонаполненной скважине.
1 - керамическая труба;
2 – поток нагретого воздуха;
3 – нагреватель;
4 – инфракрасная камера Testo 875;
5 – штатив;
6 – термоэлектрические преобразователи;
7 – термоэлектрический термометр (термопара);
8 – компьютер

Температурный градиент на внешних стенках трубы (1) создается восходящим потоком воздуха (2) от тороидального нагревателя (3), а пространственно-временное распределение температуры на внешней стенке трубы измеряется с помощью инфракрасной камеры (4). Система установки инфракрасной камеры обеспечивает возможность ее перемещения вертикально, горизонтально и вокруг трубы. Для контроля температуры воды в стенку трубы установлены термопары (6), термоэлектрический термометр (7) имеет возможность вывода измерений на компьютер, что позволяет контролировать процесс запуска СТК online.

В реальных буровых скважинах диаметром 75-150 мм критический температурный градиент, при котором начинается конвекция, невелик: n (10^{-3} – 10^{-4}) К/м. Воссоздать и поддерживать его в лабораторных условиях довольно сложно. Но при уменьшении

диаметра критический градиент резко возрастает. Для трубы с внутренним диаметром 20 мм (как в описываемом эксперименте) он составляет ~1 К/м. Температурные эффекты СТК также возрастают пропорционально увеличению градиента [7, 8, 9] и их можно надежно регистрировать на фоне помех с помощью инфракрасной камеры. В то же время, результаты эксперимента, используя принципы подобия, несложно обобщить на условия реальных скважин.

Измерения проводились с помощью инфракрасной камеры Testo 875 в центральной части трубы после наступления установившегося конвективного режима. Температурный градиент регулировался изменением мощности нагревателя. Измерения включали 45-минутный температурный мониторинг с минутной дискретизацией снимков при заданном положении камеры. По результатам мониторинга были построены временные развертки температурных аномалий (рис. 2, левая колонка).

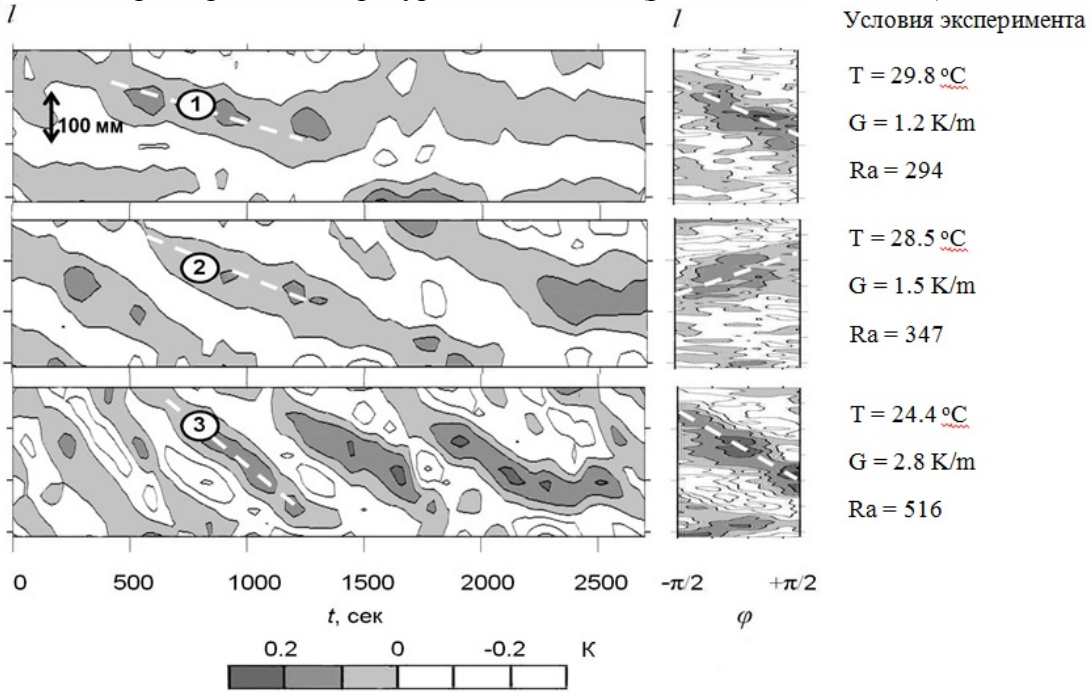


Рис. 2. Временная (левая колонка) и азимутальная (правая колонка) развертки температурных аномалий, вызываемых свободной тепловой конвекцией в вертикальной водонаполненной трубе при различных числах Рэлея. Белым пунктиром выделены оси аномалий

Аномалии на стенках оценивались для центрального профиля каждого снимка вычитанием из наблюдаемого распределения температур невозмущенного распределения, соответствующего среднему значению градиента. Перед началом мониторинга, на 16-й, 31-й минутах и после его окончания, производилась съемка азимутальной развертки (от $-\pi/2$ до $+\pi/2$ через $\pi/4$). На рисунке 2 (правая колонка) приведены азимутальные развертки температурных аномалий, полученные на 16-й минуте мониторинга.

Устойчивые температурные неоднородности на внешних стенках начинают проявляться при Ra =294. Картина аномалий однозначно указывает на то, что восходящие и нисходящие потоки СТК организованы в виде винтовых линий, вращающихся вокруг оси скважины (рис. 3).

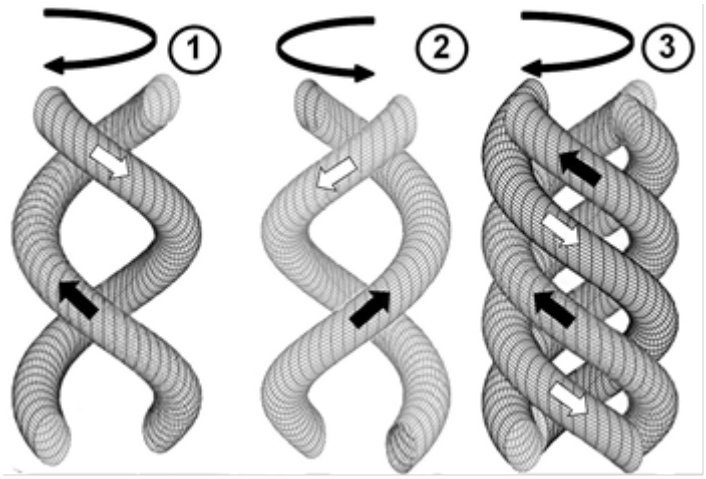


Рис. 3. Пространственная реконструкция системы течений СТК. Черными стрелками обозначены восходящие потоки, белыми – нисходящие. Стрелки над рисунками указывают направление вращения. Цифры 1-3 соответствуют номеру эксперимента на рис. 2

Шаг винта в экспериментах варьировал от 138 до 262 мм; при этом не было обнаружено его зависимости от числа Рэлея. Примерно с равной вероятностью наблюдались как правые, так и левые винтовые системы. Напротив, скорость вращения, по крайней мере при небольших закритичностях, зависит от числа Рэлея. При Ra =294 вращение неустойчивое, минимальный период полного оборота достигает 28 мин., при Ra =347 он уменьшается до 14 мин., при Ra =516 – до 12 мин. В многочисленных опытах (помимо представленных здесь примеров) обнаружено, что направление вращения всегда согласовано с направлением закручивания: правые винты вращаются против часовой стрелки (если смотреть на трубу сверху), левые – по часовой (рис. 3).

Впервые разработан экспериментальный лабораторный метод изучения структуры течений СТК в условиях, приближенных к скважинным. Он основан на инфракрасной визуализации температурных аномалий, возникающих на внешних стенках вертикальной водонаполненной керамической трубы, в которой поддерживаются условия конвекции. Температурный градиент на внешних стенках трубы создается восходящим потоком воздуха от нагревателя.

Согласно сложившимся представлениям [4, 6, 7] течения СТК организованы в виде вертикальной последовательности конвективных ячеек (по типу ячеек Рэлея-Бенара в плоском слое). Математическое моделирование, проведенное ранее [2], показало возможность реализации течений СТК в виде винтовых струй. В настоящей работе эта возможность впервые доказана экспериментально.

Проведенные эксперименты впервые показали, что течения СТК в условиях, приближенных к условиям в буровых скважинах, представляют собой систему 2-х или 4-х винтовых струй, вращающихся вокруг вертикальной оси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершуни Г.Э. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / Г.Э. Гершуни, Г.М. Жуховицкий. М.: Наука, 1972. 393 с.
2. Миндубаев М.Г. Свободная тепловая конвекция в буровых скважинах: численное моделирование и экспериментальные данные / М.Г. Миндубаев, Д.Ю. Демежко // Мониторинг. Наука и технологии. 2012, №4(13). С. 12-18.
3. Остроумов Г.А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи / Г.А. Остроумов. Москва-Ленинград: Гостехиздат, 1952. 286 с.

4. Berthold S., Börner F. Detection of free vertical convection and double-diffusion in groundwater monitoring wells with geophysical borehole measurements // Environmental geology. – 2008. – Т. 54. – №. 7. – С. 1547-1566.
5. Berthold S., Resagk C. Investigation of thermal convection in water columns using particle image velocimetry // Experiments in fluids. – 2012. – Т. 52. – №. 6. – С. 1465-1474.
6. Cermak V., Bodri L., Safanda J. Precise temperature monitoring in boreholes: Evidence for oscillatory convection? Part II. Theory and Interpretation. // Int. J. Earth Sci., 2008, v. 97(2), p.375-384, doi:10-1007/s00531-007-0250-7
7. Diment W.H. and Urban Th.C. A simple method for detecting anomalous fluid motions in boreholes from continuous temperature logs. // GRC Trans., 1983, v. 7, p. 485–490.
8. Eppelbaum L.V., Kutasov I.M. Estimation of the effect of thermal convection and casing on the temperature regime of boreholes: a review // Journal of Geophysics and Engineering. – 2011. – Т. 8. – №. 1. – С. R1.
9. Sammel E.A. Convective flow and its effect on temperature logging in small-diameter wells. // Geophysics, 1968, v. 33(6), p. 1004–1012.

FREE THERMAL CONVECTION FLOW STRUCTURE INVESTIGATIONS IN VERTICAL WATER FILLED PIPES USING INFRARED THERMOGRAPHY

Bogdan D. Hatckevich
IGF UB RAS, Yekaterinburg
disaybl@yandex.ru

Abstract. Results of experimental investigations of free thermal convection which appears under positive thermal gradient in vertical water filled pipes (boreholes) are provided. Laboratory setup which reproduces borehole conditions is described. Thermal structure of free thermal convection currents is estimated by means of infrared thermography of outer wall of the pipe.
Key words: free thermal convection, boreholes, laboratory setup, infrared thermography

УДК 550.341

ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ СМЕЩЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич[1], Эргешов Ихтиёр Махкамбоевич[2], Махкамов Сакиджан Махкамович[3], Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич[1,2]
[1]Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент
[2] Национальный Центр геодезии и картографии РУз, Ташкент
[3]Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент
hamidov-l@mail.ru

Аннотация. В статье изложены первичные результаты изучения проявления GPS-смещений в пределах периферийных границ тектонических блоков Центральной части Ферганской долины. Выявлено, что на фоне измеренных смещений равнинная часть характеризуется небольшими вертикальными движениями, а наибольшую скорость подъема демонстрирует горная часть.

Ключевые слова: современные смещения, GPS смещения, геодинамика, измерение, оценка, Ферганский геодинамический полигон

Анализ имеющегося картографического материала позволяет оценивать особенности молодых смещений в зонах различных сейсмоактивных разломов в Ферганском геодинамическом полигоне [1, 2, 3]. Их скорость характеризуется различными значениями. В орогенной части она намного выше, чем в пределах центральной части долины. В первом приближении эти оценки можно принять достаточными для выделения характерных форм смещений поверхности Земли.

А.В. Зубович, А.Р. Ярмухамедов, С.И. Кузиков, Ш.С. Раджабов и др. [4], исследуя возможные связи пространственно-временных тенденций современных движений земной коры с сейсмичностью, показали, что Западный Тянь-Шань в целом – сложная геодинамическая система. Изучением ее методами космической геодезии, в основе которой лежит использование глобальной системы позиционирования (GPS), занимаются многие исследователи [5, 6, 7]. Для построения поля скоростей современных движений авторами использовались данные GPS пунктов, установленных на территории Кыргызстана и Казахстана [8, 9]. В результате анализа кинематики региона была выявлена сложная картина распределения деформаций. Как указано в [4], в исследуемый период сеть в Восточном Узбекистане, созданная в 2002 году восточнее 66-го меридиана и состоящая из 35 точек, была измерена только один раз, поэтому в расчетах эти данные не использовались. Отмечено, что кинематические характеристики региона определяются в основном воздействием Памирского клина. Скорость сближения Памира с Казахским щитом, между которыми расположен Ферганский геодинамический полигон, по их оценкам составляет около 20 мм/год [10]. Большая часть этих движений (~15 мм/год) происходит между Памиром и Алайским хребтом. Также отмечено, что высокосейсмичная Ферганская впадина в это время находится в условиях меридионального сжатия, скорость которого составляет более 4 мм/год [4]. Из-за отсутствия данных внутри впадины, исследователи отметили невозможность определения точного места, где эти движения происходят, но уточнили, что они происходят на севере. Далее на север в районе Чаткало-Кураминской системы хребтов и вплоть до Казахского щита деформации практически отсутствуют. Один из крупнейших в Центральной Азии правосторонних сдвигов – Таласо-Ферганский разлом, отделяющий Западный Тянь-Шань от его остальной части, так же, как и в [4], в настоящее время себя не проявляет. На всем его протяжении отсутствуют какие-либо сдвиговые смещения, хотя, по геологическим данным, на его отдельных участках они составляли до 15 мм/год в течение длительного геологического времени. Вопрос о том, почему в настоящее время здесь нет движений, очень важен. Авторами работы [4] было отмечено, что «…если они отсутствуют из-за импульсного характера смещений по Таласо-Ферганскому разлому, то это может означать, что в настоящее время происходит накопление упругой энергии, которая когда-то должна освободиться в виде сильного землетрясения…».

В последнее время в Западном Тянь-Шане изменился режим деформирования земной коры [4, 11]. В пользу данного довода свидетельствуют тот факт, что «…по результатам GPS-измерений обнаружены движения взбросового характера поперек разлома, которые прослеживаются как с юго-западной стороны у Баубашатинского массива…», так и с северо-восточной – в районе хребта Кекерим-тоо [4]. Дальнейшие исследования показали, что эти движения, сбрасывают напряжения в районе Таласо-Ферганского разлома и не дают возможности сдвига по нему [11, 12]. Кроме того, значительные взбросовые перемещения Памира на Алайскую впадину также не позволяют передавать воздействие на Западный Тянь-Шань с юга [4, 10].

В настоящее время, по данным GPS измерения в Ферганском геодинамическом полигоне, имеются инструментальные данные по смещению земной коры и ранее использованные данные метода по отдельным линиям повторного нивелирования [11]. В этой зоне 2015-2016 годах нами проведены GPS-измерения и эмпирические оценки смещений от землетрясений и собраны количественные данные по смещению земной коры. В Ферганском геодинамическом полигоне установлены стационарные GPS-приборы Leica 1200 (погрешность прибора 2 мм по горизонтальным перемещениям и 5 мм по вертикальным). Дополнительный стационарный GPS-приемник установлен на Янгибазарской обсерватории, он тоже работает в указанном режиме. В субширотной станции Китаб Кашкадаринской области работает опорный GPS-приемник. Все измерения уравниваются с этим опорным приемником. Кроме них на определенном этапе были включены станции Ташкент, Наманган и др. Вышеуказанные приборы работают при одинаковых интервалах времени и параметрах.

Восточно-Узбекская и Ферганская сеть заложена в 2010-2015 годах и состоит из 4-х пунктов: Ташкент (TASH), Янги-Базар (YNGB), Наманган (NAMG) и Фергана (FERG) (рис. 1). Наиболее стабильно действуют Ферганская и Янги-Базарская станции. В первое время частота опросов локальной GPS-сети достигала 3-4 раза в год. В 2015 году проведено расширение и составлены профили уплотнения локальной сети до 24 пунктов с нестационарными точками временных измерений в пределах 2-3 суток. В настоящее время регулярные измерения проводят 3 пункта с периодичностью 2-3 месяца в каждом интервале срочных опросов. Они проводились в июне-августе 2015 года и июле-августе 2016 года. Передвижные пункты измерений находятся друг от друга на расстоянии от 2 до 20 км. Среднее расстояние между стационарными станциями – от 120 до 240 км [12]. В разнице длин векторов определены смещения относительно выбранных опорных станций.

Рассматриваемый сегмент состоит из станций TASH, YNGB, NAMG, FERG и SAMR. Файлы наблюдений являются, соответственно, частотными, с интервалом записи 5 с, с углом маски 10°. Выбор разницы Δa_i с опорными выделены по схеме, приведенной на рисунке (рис. 1). Данные по этой схеме в дальнейшем вводились в СУБД базу данных ARC-GIS.

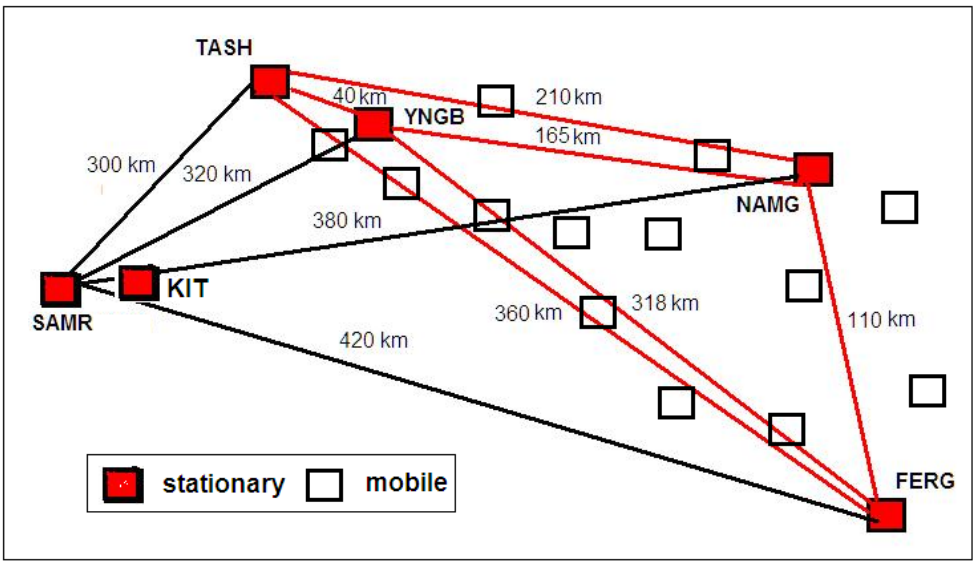


Рис. 1. Схема пунктов GPS измерения НЦГК РУз (расстояние между пунктами условные)

Оценка скоростей современных движений для изучения проявления сильных землетрясений и других геодинамических явлений в периферийных границах тектонических блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений строилась на результатах наблюдений на четырех стационарных GPS-станциях Восточного Узбекистана и геодезической сети Центральной Азии. В основу оценки скоростей положен анализ временных рядов координат GPS-станций, вычисляемых из первичных данных, которые представляют собой наборы фазовых и кодовых измерений на двух частотах продолжительностью 24 часа с интервалом регистрации 30 с.

К набору измерений на стационарных станциях NAMF, TASH, FERG добавлены данные двух близкорасположенных опорных станций сети: SAMR (Самарканд) и KIT (Китаб). Выбранные опорные станции с указанной кодировкой входят в реализацию международной земной отсчетной основы ITRF2008 [13]. В разворачиваемых передвижных станциях измерения выполнены дискретно через заданный временной интервал с некоторым шагом по расстоянию. Оценки компонент скоростей и векторов горизонтальных движений GPS-станций региональной сети Восточного Узбекистана и опорных станций сети IGS, расположенных на Тянь-Шанском орогене, показали, что временные ряды координат характеризуются сезонными вариациями, наиболее выраженными для вертикальных компонент. Расчеты проведены соответственно процентному отклонению от основных до измеренных с разделением на среднее суммарное значение a_i. Точность определения координат изменяется в пределах 1-2% за сутки. Такой же точностью характеризуются координаты опорных станций сети IGS, используемых при анализе. Характерным аспектом поля скоростей периферийной зоны блоков Ферганской долины является ускоренное горизонтальное смещение в северо-восточном направлении практически с одинаковыми скоростями – 22–26 мм/год.

Подобным движением характеризуется Северо-Ферганский разлом и субвосточное направление Южно-Ферганского разлома, примыкающее к Сохской зоне. Опорные станции в центральных частях (SAMR, KITAB) также движутся в северо-восточном направлении, однако скорость их несколько меньше – 18-20 мм/год. Скорость движения опорной станции FERG значительно превышает все остальные (38 мм/год) [12].

Для кинематического анализа приведенных различий скоростей движение всех указанных станций соотнесено с движением Западно-Чаткальской периферийной зоны, представленной станцией YNGB. Для определения параметров движения YNGB использован набор опорных станций по SAMR, TASH и FERG. Опорные станции выбирались таким образом, что их скорости характеризовались взаимной согласованностью в рамках модели, описывающей мгновенное движение целостного недеформируемого сегмента сферической поверхности, как вращение относительно общего полюса Эйлера. Условием такой согласованности является существование общего для всех пунктов вектора Эйлера, векторное произведение которого с радиус-вектором пункта определяет скорость каждого пункта.

Движение опорных станций TASH и YNGB, расположенных в западном Чаткале, закономерно соответствует средней кинематике Восточного Узбекистана (в пределах погрешностей измерений), так как эти станции входят в число опорных станций, определяющих ее стабильную внутреннюю часть. В то же время станции внутреннего поля Ферганской долины, а также станция YNGB при совмещении, характеризуются избыточными значениями скоростей 4-8 мм/год по отношению к расчетным значениям, вытекающим из принятой модели движения.

Данные отличия проявляются в виде остаточных смещений пунктов GPS при трансформации из ITRF2008 в систему отсчета. Это связано с принятой нами неподвижной Западно-Тянь-Шанской (SAMR) точкой. Это отличие показывает, что современное, относительно более быстрое, смещение периферийных границ тектонических

блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений обусловлено общим тектоническим движением Восточного Узбекистана.

Результаты изучения проявления сильных землетрясений и других разрушительных геодинамических явлений в пределах периферийных границ тектонических блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений показали, что равнинная часть характеризуется небольшими вертикальными движениями. Наибольшую скорость подъема демонстрирует горная часть. Центральная часть Ферганской впадины имеет умеренное устойчивое движение. Оценки скорости движения для этого сегмента, полученные гравиметрическими и геофизическими методами, совпадают в пределах допустимых ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллабеков К.Н. О космогеодезических исследованиях современных тектонических движений земной коры Узбекистана по международной программе PAMIR-TIENSAN-XINJIANG GPS (Global Positioning System) / К.Н. Абдуллабеков [и др.] // Узб. геол. жур. 1995. N1. С. 74.
2. Якубов Д.Х. Геодезические исследования и прогноз землетрясений на геодинамических полигонах Узбекистана / Д.Х. Якубов, А.Р. Ярмухамедов, А.С. Саттаров // Прогноз сейсмической опасности Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1994. – С. 80-85.
3. Зубович А.В. Внутриконтинентальное горообразование в Центральной Азии по данным спутниковой геодезии / А.В. Зубович [и др.] // Геотектоника. 2007. № 1. С. 16–29.
4. Зубович А.В. Современные деформационные процессы в Западном Тянь-Шане. / А.В. Зубович [и др.] // Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений. Материалы международной научной конференции 7-8 октября 2004 г. – Ташкент. – 2004 – С. 238-240.
5. Leick Alfred GPS satellite surveying. Second Edition. New York: John Wiley & Sons, 1995, p. 560.
6. Hofmann-Wellenhof B. GPS Theory and Practice / B. Hofmann-Wellenhof and H. Lichtenegger // Fourth, revised edition. Wien: Springer-Verlag, 1997, p 390.
7. Hager B.H. Measurement of crustal deformation using Global Positioning System / B.H. Hager, R.W. King, M.H. Murray // Annu. Rev. Earth Planet.Sci, 1991, vol. 19, No. 2, P. 351-382.
8. Abdrakhmatov K.Ye. Relatively construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates / K.Ye. Abdrakhmatov [et al.] // Nature , Vol 384, December, 1996, P. 450-457.
9. Зубович А.В. Поле деформации, глубинное строение земной коры и пространственное распределение сейсмичности Тянь-Шаня / А.В. Зубович [и др.] // Геология и геофизика. Москва, 2001. № 10. С. 89-96.
10. Зубович А.В. Современная кинематика Тарим - Тянь-Шань – Алтайского региона Центральной Азии (по данным GPS измерений) / А.В. Зубович [и др.] // Физика Земли, Москва ИФЗ РАН, 2004, № 9. С. 48-56.
11. Эргешов И.М. Морфогенетические особенности Восточной части Западного Тянь-Шаня для организации GPS измерительных пунктов / И.М. Эргешов [и др.] // ДАН РУз. – Ташкент. – №5. – 2015. – С. 41-45.
12. Эргешов И.М. Морфогенетические особенности Восточной части Западного Тянь-Шаня для организации GPS измерительных пунктов / И.М. Эргешов [и др.] // Доклады АН РУз. – Ташкент. – №2. – 2016. – С. 49-54.

13. Zubovich A.V. A method of superimposed triangulations for calculation of velocity gradient of horizontal movements: application to the Central Asian GPS network / A.V. Zubovich, Sh.A. Mukhamediev // Geodynamics & Tectonophysics. 2010. V. 1. №2. P. 169–185. Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/metod-nalozhennyh-triangulyatsiy-dlya-vychisleniya-gradienta-skorosti-gorizontalnyh-dvizheniy-prilozhenie-k-tsentralno-aziatskoy-gps.

CURRENT UPHEAVAL ESTIMATE OF FERGANA VALLEY CENTER

Khamidov Lutfulla Abdullaevich[1], Ergeshov Ikhtiyor Mahkamboevich[2], Mahkamov Sakidzhan Mahkamovich[3], Khamidov Khayrulla Lutfullaevich[1,2]
[1] Institute of Seismology of AS of Uzbekistan, Tashkent
[2]Natsionalny Center of Geodesy Cartography of Uzbekistan, Tashkent
[3]Tashkentsky Architecture and Construction Institute, Tashkent
hamidov-l@mail.ru

Abstract. The article presents initial results of GPS displacement study within tectonic blocks perimeter boundaries of Ferghana Valley central part. It was revealed that flat part is characterized by small vertical movements against measured displacements, but the highest ascending rate mountain part shows.
Key words: current upheaval, GPS excursion, geodynamics, measurement, evaluation, Fergana Geodynamic Polygon

УДК 550.341

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич, Артиков Фарход Рустамович
Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент, Узбекистан
hamidov-l@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются условия установки аппаратуры и совмещение работы локальной цифровой сейсмометрической сети в районе водохранилищ Южного Узбекистана с системой наблюдений, предназначенной для инженерного обеспечения мониторинга землетрясений в зоне влияния этих объектов.
Ключевые слова: сейсмометрия, водохранилище, сейсмичность, наблюдение, мониторинг

Анализ известных случаев возбужденных землетрясений, вызванных эксплуатацией техногенных объектов, позволил установить ряд обобщений, учитывающих многогранные условия геологического строения [1, 2, 3]. Специфичность изучения влияния техногенного фактора на сейсмичность заключается в том, что в районе каждого объекта для обеспечения регистрации местных землетрясений, включая слабые, требуется разбивка локальной сейсмической сети [4, 5]. Большинство эпицентров землетрясений группируются в зоны, контролируемые структурными особенностями конкретного района: распределением разломов, зон трещиноватости, простиранием структур и т.п. [6, 7]. Объектами, которые оказывают сейсмоэкологи-ческое влияние на окружающую среду, являются водохранилища, а также объекты крупномасштабного освоения недр.

Существующая региональная сеть сейсмических станций в южном Узбекистане представлена лишь одной сейсмопрогностической станцией в п. Шуртан [8]. В 15 км от г. Гузар вблизи Пачкамарского водохранилища действует другая региональная сейсмическая станция. В зоне водохранилищ местные аналоговые сейсмические станции позволяют получать данные о землетрясениях с энергетическим классом 12 и более. Чтобы получить необходимую информацию, в районе крупных водохранилищ Южного Узбекистана (особенно в зоне влияния Чульбаир-Гиссарских тектонических нарушений), необходимо добиться регистрации землетрясений меньших энергетических классов (хотя бы от $K \geq 5$). В связи с этим основной задачей является разбивка локальной сети на подрайоны и организация в них микросейсмического мониторинга.

Поэтому целью данной работы была установка аппаратуры и совмещение работы локальной цифровой сейсмометрической сети в районе расположения техногенных объектов Южного Узбекистана с системой наблюдения, которая предназначена для инженерного обеспечения мониторинга землетрясений в зоне их влияния. В рамках развития цифрового сейсмометрического наблюдения (ЦСН) в зоне активного влияния водохранилищ Южного Узбекистана нами проведена работа в районах водохранилищ Тупаланг, Гиссарак и Пачкамар. Они являются самыми крупными в этом регионе и имеют существенное влияние на экономику и развитие Кашкадаринской и Сурхандаринской областей Узбекистана. Эти области являются лидерами по объемам и качеству хлопка среди всех областей Узбекистана. Поскольку технология реализации ЦСН во всех указанных районах аналогична, в качестве примера будем использовать работы, выполненные нами в Тупалангском водохранилище.

Территория Тупалангского водохранилища Южного Узбекистана расположена в южной части Гиссарского горного хребта и ограничена с запада хр. Сурхантау и с востока хр. Мачетли [5, 8]. В этом районе происходили такие сильные и разрушительные землетрясения, как Каратагское силой 9-10 баллов (эпицентр расположен достаточно близко к водохранилищу), Байсунское – 8-9 баллов (в 80-90 км к юго-западу от водохранилища) и Чуянчинское (в 70-80 км к северо-востоку от водохранилища) [4, 6]. Эти землетрясения оказали существенное влияние и на зоны, где позднее были построены Гиссаракское и Пачкамарское водохранилище. Сейсмические исследования, проведенные в период 1973-1981 гг. и в последующие годы, показывают, что территория характеризуется высокой сейсмичностью: здесь могут происходить землетрясения силой до 9 баллов.

Специальным исследованием на территории водохранилища установлено, что землетрясения силой 7, 8 и 9 баллов имеют тенденцию повторения [6]. Уровень повторяемости землетрясений отмечен и в последних исследованиях [8]. Учитывая повторяемость землетрясений и непосредственную близость плейстосейстовой области Каратакского землетрясения к техногенным объектам Южного Узбекистана, исходная сейсмичность для территории принята 9 баллов. Расчеты приращения сейсмической интенсивности (ΔI) для конкретных грунтовых условий местности можно производить относительно исходного сейсмического балла [6]. В последние годы новым направлением в исследованиях, способствующих повышению безопасности и эффективности эксплуатации техногенных объектов, становится мониторинг локальной сейсмичности [1, 8]. Данная разновидность мониторинга основана на представительной регистрации сейсмических колебаний, начиная от слабых событий в прибортовом породном массиве зоны деформационного влияния техногенных объектов. Путем обработки получаемых сейсмических записей оцениваются характеристики процессов разрушения: их положение в пространстве, выделившаяся сейсмическая энергия, неупругая деформация в очаговой области.

Интерпретация и анализ данных характеристик позволяют решать следующие задачи:

– оценка влияния интенсивности эксплуатации водохранилищ на макроскопическую устойчивость пород бортов чаши водохранилища и устойчивости плотины;

– идентификация сейсмически активных геологических структур;

– оценка связанных с сейсмическими событиями деформаций.

Потенциальные выгоды регистрации, а также количественной обработки и интерпретации сейсмических событий на таких объектах были известны давно. Попытки организовать сейсмологический мониторинг на техногенных объектах Южного Узбекистана в плановом режиме были недостаточно успешными, главным образом, из-за технических ограничений (неточная синхронизация сейсмических каналов при регистрации в аналоговом режиме, проблемы с электропитанием и необходимость прокладки наземных кабельных линий для коммуникации на большие расстояния).

На примере Тупалангского водохранилища проведено инженерно-сейсмологическое обоснование выбора мест пунктов наблюдения. Для изучения поведения бортов и основания каньона при землетрясении с учетом возможной несинхронности записей проведена обработка материала, полученного при регистрации землетрясений небольшой энергии в указанных пунктах сейсмологических наблюдений (рис. 1). Эти пункты предварительно оснащаются точно синхронизованными цифровыми трехкомпонентными приборами с идентичными сейсмическими каналами. В каждом из них определяется разница прихода одинаковых фаз. Для этого на всех обрабатываемых сейсмограммах выделяются интервалы с единым начальным временем измерения t_0.

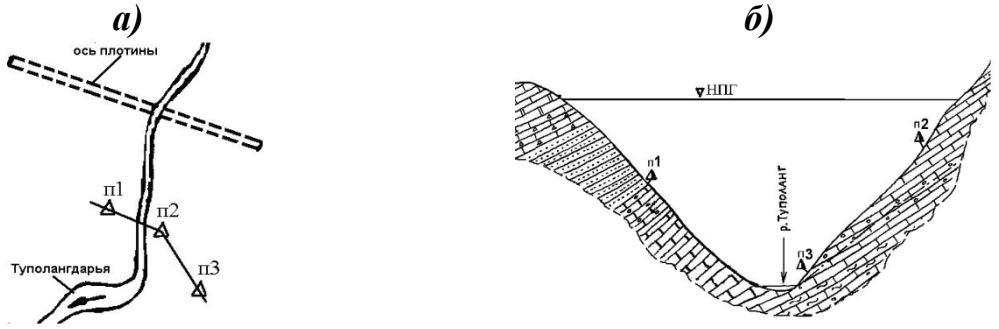


Рис. 1. Места установки временных пунктов сейсмологических наблюдений: а) в плане, б) в профиле

Для хорошо определенных одноименных фаз производится нумерация по порядку до конца выбранного интервала обработки. Такая же нумерация переносится на сейсмограммы, полученные по другим каналам наблюдений, не имеющих точной привязки во времени. Затем производится расчет разницы времени прихода одинаково нумерованных фаз в пункте 1. Та же самая операция повторяется для следующей фазы и т.д. По полученным значениями Δt_1 , Δt_2 составляется график разницы времени прихода одноименных фаз от текущего времени t то есть $\Delta t = f(t_i)$. Далее производится оценка информативности геолого-геофизических данных по выбранным измерительным точкам и оценивается амплитудно-частотная характеристика каналов в тестовом режиме. Установлены и налажены сейсмические датчики в одной измерительной точке; проведены тестирование, калибровка, наладка сети каналов и программного обеспечения.

В настоящем сейсмическая стация «Тупаланг» участвует в системе оперативной оценки сейсмичности Сурхандарьинского области, Южного Узбекистана. По её цифро-

вым записям оперативно для нужд Государственных служб за последние 3 года определены параметры более 27 землетрясений с К≥12 на территории Узбекистана, 14 землетрясений на территории Афганистана и более 12 землетрясений на территории Таджикистана.

Одной из основных задач сейсмической службы Узбекистана является обеспечение непрерывного мониторинга сейсмичности территории Республики Узбекистан и сопредельных районов и оперативное взаимодействие с правительственными организациями по чрезвычайным ситуациям с целью повышения уровня защиты населения, зданий и промышленных объектов от разрушительных последствий землетрясений. С этих позиций оценка и повышение эффективности системы наблюдений являются необходимой составной частью работ по мониторингу сейсмичности.

Например, до 2009 г. сейсмическая станция «Тупаланг» для записи местных и близких землетрясений была оборудована высокочувствительными сейсмографами типа СКМ–3 и СМ–3 с аналоговой гальванометрической регистрацией и коэффициентами усиления каналов (в зависимости от фона помех 1-го рода) от 10000 до 30000. Диапазон периодов 0.2-1.25 с в полосе пропускания амплитудно-частотных характеристик каналов соответствует главной части спектра сейсмических волн слабых близких и местных землетрясений.

Наименьшая плотность сейсмологических наблюдений – в Южном Узбекистане, где сосредоточены всего две сейсмические станции: Зарабаг (ЗРБ), Пачкамар (ПЧК). Они «контролируют» сейсмическую обстановку в южных газодобывающих районах Узбекистана, что недостаточно для детального изучения сейсмичности на этой территории, а также для проведения работ по изучению влияния техногенных факторов на общий уровень сейсмичности. С середины 2009 г. в районе Туплангского водохранилища по инициативе и при финансовой поддержке управления строительства и эксплуатации Туплангского водохранилища Узбекистана начаты сейсмические наблюдения с помощью комплекта аппаратуры, состоящего из модифицированной цифровой рабочей сейсмической станции «СРС КМ /V-F» (в дальнейшем СРС) и короткопериодных сейсмометров СКМ-3 и СМ-3 (часть датчиков СМ-3 оснащена перемотанными рабочими катушками с большей чувствительностью).

Станция СРС – короткопериодная, регистрирует скорость движения среды по трем составляющим: N-S, E-W и Z. Она обладает съемной флэш-памятью, разработана с учетом конкретных условий совместными усилиями сотрудников Института Сейсмологии АН РУз и ООО «ELIUS». Сейсмическая станция СРС предназначена для проведения следующих работ: организация сейсмических наблюдений за местными, близкими и далекими землетрясениями, а также за афтершоками и промышленными взрывами; проведение первичной обработки сейсмической информации; архивирование цифровых сейсмограмм. На основании многолетних наблюдений для цифровых станций СРС выбран режим регистрации скоростей смещения объекта, и поэтому в блоке преобразования станции отсутствуют интегрирующие фильтры, необходимые для регистрации смещений. В таблице приведены пороги обнаружения станции по сравнению с другими (табл. 1).

Амплитудно-частотные характеристики сейсмометрических каналов станции полностью определяются параметрами сейсмических датчиков – чувствительностью рабочих катушек и набором констант – периодом собственных колебаний и затуханием сейсмоприемников, которые выбираются в зависимости от фона помех и возможностей аппаратуры. Переопределение констант, то есть настройка на заданные величины периодов и затуханий колебаний, происходит при калибровке сейсмических каналов. Ранее сейсмические станции СРС КМ/V-F со съемной флэш-памятью были установлены в пунктах наблюдения «Агалык», «Пачкамар» и «Джизак». Позже, после изготовления

следующей модернизированной серии СРС, станции были установлены также в ближних зонах плотин Гиссаракского и Пачкамарского водохранилищ.

Таблица 1

Пороги обнаружения полезного сигнала для сейсмометрических каналов цифровых станций СРС ИС АН РУ

Пункт наблюдения	Код	Дата открытия станции	*R, км	Дата	Пороги обнаружения		
					N-S мВ	E-W мВ	Z мВ
Тупаланг	ТПЛ	23.06.2009	S-0	05.11.2010	6.0	5.0	0.3
Зарабаг	ЗРБ	21.04.2008	W-65	24.09.2008	0.21	0.21	0.11
Пачкамар	ПЧК	22.11.2007	NW-85	23.09.2008	5.0	5.0	0.21
Гиссарак	ГСР	20.05.2009	E-95	23.05.2009	7.0	2.5	0.4
Шуртан	ШУР	21.12.2007	S- 100	22.05.2008	15.0	10.0	12.0

*- направление и расстояние между с/с (от предыдущей).

В таблице 1 показаны даты открытия станций СРС в различных пунктах наблюдения. Также для каждого сейсмометрического канала станции показаны пороги обнаружения в мВ (милливольты). Превышение любого из них под действием сейсмических колебаний переводит станцию СРС из ждущего режима в режим «Запись землетрясения».

Исследования показали, что реализованная на базе нового оборудования система и ее совместная работа с цифровыми сейсмическими станциями СРС KM/V-F требует поэтапной оценки ее работоспособности в каждом пункте наблюдения. Эффективность и производительность функционирования установленных станций зависит от устойчивости результатов дополнительного анализа всех ее автоматических включений «на запись», связанных с естественным сейсмическим фоном и техногенными помехами производственно-хозяйственного характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев. – М.: МГУ, 1995. – 272 с.
2. Sashourin A.D. Formation of centres of technogeneous catastrophes in area of intense mineral mining / A.D. Sashourin // Mining in the Arctic. Trondheim, Norway, 1996. P. 201-206.
3. Lynch R.A. Micro-seismic monitoring of open pit slopes / R.A. Lynch [et al.] // Proc. of the 6th Symposium on Rock bursts and Seism city in Mines, ed. Y.Potvin and M. Hudyma. – ACG: Perth, 2005. – pp. 581-592.
4. Нурматов У.А. Особенности проявления сейсмичности в сейсмогенных зонах Южного Узбекистана / У.А. Нурматов, У.А. Юсупджанова // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – Т.: Янги аср авлоди. – №2, 2005. – С. 55-65.
5. Усманова М.Т. Некоторые данные к геолого-тектоническому генезису динамики сейсмичности Центральной Азии / М.Т. Усманова // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – Т.: Янги аср авлоди. – №2, 2005. – С. 302-308.
6. Хамидов Л.А. Сейсмичность зон деформационного влияния водохранилищ Узбекистана / Л.А. Хамидов [и др.] // XI Сергеевские чтения, 23-24 марта 2009. – Москва: МГУ, 2009. – С. 236-240.
7. Артиков Ф.Р. Оценка сейсмических нагрузок на створ водных резервуаров от местных землетрясений / Ф.Р. Артиков [и др.] // Вестник НУ РУз. – Ташкент, 2014. – №3/1. – С. 117-122.

8. Зияудинов Ф.Ф. Результаты инженерно-сейсмометрических наблюдений в зоне Гиссаракского водохранилища / Ф.Ф. Зияудинов [и др.] // Геология и минеральные ресурсы. – 2016. №5. – С. 58-65.

DIGITAL SEISMOMETRIC STUDY DEVELOPMENT IN ACTIVE INFLUENCE ZONE OF SOUTHERN UZBEKISTAN RESERVOIRS

Khamidov Khayrulla Lutfullaevich., Artikov Farhod Rustamovich
Institute of Seismology of AS of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
hamidov_l@inbox.uz, hamidov-l@mail.ru

Abstract. The article discusses installation conditions of hardware and work mix of local digital seismometric network in reservoirs area of Southern Uzbekistan with spread designed for engineering support of earthquake monitoring in influence area of these objects.
Key words: seismology, reservoir, seismicity, observation, monitoring

УДК 532.54

НАГРЕВ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ АКУСТИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ

Хусаинова Гузалия Ядкаровна
СФ БашГУ, г. Стерлитамак
gkama@mail.ru

Аннотация. В работе исследовано акустическое воздействие на призабойную зону пласта. Решены волновые и температурные задачи. Выполнен численный эксперимент при различных значениях параметров системы.
Ключевые слова: акустическое воздействие, вычислительный эксперимент, гидродинамические параметры

Введение

Исследование акустического воздействия на призабойную зону пласта горных пород представляет большой интерес для использования в различных технологических процессах, в частности, при эксплуатации газонефтяных скважин. Основное его преимущество – осуществление нагрева пласта с регулированием подаваемой через скважину энергии волн акустического поля без экологического ущерба окружающей среде и возможность достаточно простых технических решений. О широком потенциале использования акустических полей при воздействии на породы-коллекторы говорят серьёзные теоретические расчёты, подтверждённые экспериментально в лабораторных условиях и промысловыми испытаниями [1].

Снижение дебита эксплуатационных скважин во многом обусловлено уменьшением фильтрационных свойств в поровом пространстве пласта, в непосредственной близости от стенки скважины из-за выпадения парафина, солей или твердых частиц (плотность такого компонента экспоненциально убывает по мере удаления от стенки скважины в пласт). Поэтому восстановление фильтрации именно в этой зоне может служить достаточным условием восстановления производительности скважин [2-6].

В работе [1] получена математическая модель, описывающая процесс плавления парафиновых отложений в пористой среде при воздействии акустическим полем. В

данной работе учитывается зависимость коэффициента вязкости от температуры при акустическом воздействии.

Волновая задача

На границе $x = 0$ пористой среды, насыщенной жидкостью, действует источник гармонических волн давления. При описании волновой и температурной задачи принимаются следующие допущения: температура жидкости и скелета пористой среды в каждой точке совпадают; пористый скелет несжимаемый. Зависимость изменения вязкости от температуры μ_T определяется следующей формулой:

$$\mu_T(x) = \mu_\infty + (\mu_o - \mu_\infty) \cdot e^{-a(T(x)-T_0)}, \quad (1)$$

где T_0 – начальная температура жидкости насыщающей скелет пористой среды; T – температура жидкости; a – коэффициент, зависящий от свойства жидкости; μ_o – вязкость жидкости при температуре T_0; μ_∞ – предельная вязкость жидкости.

В рамках вышеизложенных допущений для нестационарного течения жидкости в пористой среде записывается система линеаризованных уравнений: неразрывности, импульса и состояния. Наличие источника гармонических волн давления на границе $x = 0$ записывается в виде следующего граничного условия:

$$p = A_p \cdot \cos(\omega t), \ (x = 0, \ t > 0), \quad (2)$$

где A_p – амплитуда волны; ω – круговая частота. Рассматривается случай, когда зона воздействия имеет конечную ширину $(0 < x < l)$, но при этом правая граница $(x = l)$ высокопроницаема. Последнее условие для реальных ситуаций означает, например, что призабойная зона шириной равной l «засорена», а за этой зоной начинается «незасоренная» область с проницаемостью, во много раз превышающей ее значение в прискважинной зоне. Граничное условие записывается в виде:

$$p = 0, \quad x = l. \quad (3)$$

Под воздействием гармонических волн давления насыщающая пористую среду жидкость совершает колебательное движение относительно твердого скелета. За счет сил вязкого трения между жидкостью и скелетом, энергия волны переходит в тепло. Для определения среднего притока тепла в единицу объема за единицу времени получена формула:

$$Q = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{\mu_T}{k} (\mathrm{Re}(u))^2 dt. \quad (4)$$

Температурная задача

Приток тепла в пористую среду описывается с помощью уравнения теплопроводности. Граница $x = 0$ теплоизолирована, на границе $(x = l)$ отсутствует скачок температуры и происходит теплообмен с окружающей средой. Полученная система уравнений решалась численно с помощью неявной конечно-разностной схемы.

В работе получены следующие результаты:

1. Наибольший эффект нагрева реализуется в зоне с большей проницаемостью.
2. В случае, когда вязкость не зависит от температуры, нагрев прискважинной зоны больше, чем при вязкости, зависящей от температуры.
3. При уменьшении вязкости увеличивается выделение тепла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хусаинов И.Г. Тепловые процессы при акустическом воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду / И.Г. Хусаинов // Вестник Башкирского университета. – 2013. Т. 18. № 2. – С. 350-353.
2. Хафизов Р.М. Динамика восстановления давления в «вакуумированной» скважине / Р.М. Хафизов, И.Г. Хусаинов, В.Ш. Шагапов // Прикладная математика и механика. – 2009. – Т. 73. № 4. – С. 615-621.
3. Хусаинов И.Г. Оценка качества перфорации скважины акустическим методом / И.Г. Хусаинов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.
4. Хусаинов И.Г. Исследование параметров пласта методом опрессовки / И.Г. Хусаинов, Г.Я. Хусаинова // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 706.
5. Шагапов В.Ш. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой породой, при ее опрессовке введением газа / В.Ш. Шагапов, И.Г. Хусаинов, Р.М. Хафизов // Прикладная механика и техническая физика. – 2006. – Т. 47. № 1 (275). – С. 109-118.
6. Шагапов В.Ш. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой горной породой / В.Ш. Шагапов [и др.] // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38. № 3. С. 106-112.

ACOUSTIC WAVES HEATING OF BOTTOM-HOLE ZONE

Guzalija J. Khusainova
CF BashGU, Sterlitamak
gkama@mail.ru

Abstract. Acoustic influence on bottom-hole formation zone is studied in the work. Wave and temperature problems are solved. Numerical experiment is executed at various values of system parameters.
Key words: acoustic influence, computing experiment, hydrodynamic parameters

УДК 532.546

ОЧИСТКА ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Хусаинова Гузалия Ядкаровна
СФ БашГУ, г. Стерлитамак
gkama@mail.ru

Аннотация. Рассматривается задача о закачке растворителя в пористую среду, засоренную за счет отложения твердой фазы (парафинов, битумов, например). В рамках схемы плоскоодномерной фильтрации получены автомодельные решения, описывающие распределения давления и скорости.
Ключевые слова: закачка, растворитель, фильтрация, автомодельное решение, очищенная зона

Введение

Одной из наиболее распространенных причин ухудшения коллекторных характеристик пласта в призабойной зоне нефтяных скважин являются «склеротические» изменения за счет отложения твердой фазы (парафинов, например) на стенки поровых каналов. В большинстве случаев удаление этих отложений можно осуществить закач-

кой растворителя. Необходимые оценки для проведения технологических расчетов с применением растворителя можно получить на основе решений плоскоодномерной и радиальносимметричной задач. В частности, если радиальносимметричная постановка позволяет проанализировать очищение пористой среды вокруг скважины, то плоскоодномерная задача дает возможность проследить эти процессы вблизи трещин (образованных при гидроразрыве, например). Отметим также, что принятые в данной работе теоретические постановки задач могут быть использованы для расчетов при кислотной обработке призабойной зоны пластов для карбонатосодержащих пород. Некоторые аспекты вытеснения углеводородной жидкости из пористых сред с помощью растворителей рассмотрены в [1, 2].

Основные уравнения

Пусть среда с пористостью m в исходном состоянии частично закупорена твердой фазой, которая растворяется в закачиваемой жидкости. В исходном состоянии объемная доля, занятая твердой фазой, равна ν и поэтому «живая» пористость составляет $m' = (1-\nu)m$. Кроме того, засоренная пористая среда, в свою очередь, насыщена жидкостью. При закачке растворителя в такую систему можно выделить три характерные зоны, а именно ближнюю, очищенную от твердой фазы пористую среду (с пористостью m), где в порах находится чистый растворитель; вторую, промежуточную зону (с пористостью m'), в которой фильтруется насыщенный твердой фазой растворитель; и третью, дальнюю зону, где происходит фильтрационное течение исходной насыщающей жидкости. Здесь отметим, что согласно принятым представлениям в этих трех зонах, вообще говоря, находятся три разные жидкости, отличающиеся вязкостью, сжимаемостью (определяемой величиной скорости звука), а также равновесными значениями плотности. Параметры, соответствующие этим трем зонам, будут снабжены индексами 1, 2 и 3 внизу. Тогда линейное уравнение пьезопроводности и закон Дарси могут быть записаны в виде:

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \chi_i \frac{1}{r^n}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^n \frac{\partial p_i}{\partial r}\right),\ u_i = m_i \upsilon_i = -\frac{k_i}{\mu_i}\frac{\partial p_i}{\partial r},\ \chi_i = \frac{k_i \rho_i C_i^2}{\mu_i m_i}, \qquad (1)$$

$m_1 = m,\ m_2 = m_3 = m' = m(1-\nu),\ k_2 = k_3.$

Здесь p_i, υ_i и u_i – давление, истинная скорость и скорость фильтрации; m_i, k_i, μ_i, и C_i – коэффициенты пористости, проницаемости, динамическая вязкость и скорость звука в жидкости, определяющее сжимаемость; χ_i – коэффициент пьезопроводности.

Отметим, что принятые выше допущения для структуры зон фактически пренебрегают протяженностью областей, в которых происходит растворение и смывание твердой фазы. И тем самым эти области заменяются поверхностями разрывов для части переменных (скорости фильтрации, например) и параметров, определяющих фильтрационные характеристики (пористость, проницаемость, вязкость). Кроме того, в дальнейшем будем пренебрегать гидравлическим сопротивлением в этих областях и на границах между зонами потребуем условие непрерывности давления:

$p_1 = p_2 = p_{(12)}\ (r = r_{(12)}),\ p_2 = p_3 = p_{(23)}\ (r = r_{(23)}).$

Из закона сохранения масс для всей системы растворитель-твердая фаза в целом на границе между первой и второй зонами следует:

$$\rho_1 m_1\left(\upsilon_1 - \frac{dr_{(12)}}{dt}\right) = \rho_2 m_2\left(\upsilon_2 - \frac{dr_{(12)}}{dt}\right) - \rho_s m \nu \frac{dr_{(12)}}{dt},\ (r = r_{(12)}), \qquad (2)$$

где ρ_s – плотность твердой фазы. Запишем также уравнение сохранения массы растворителя на этой границе:

$$\rho_1 m_1\left(\upsilon_1-\frac{dr_{(12)}}{dt}\right)=(1-g)\rho_2 m_2\left(\upsilon_2-\frac{dr_{(12)}}{dt}\right),\ (r=r_{(12)}),\qquad(3)$$

здесь g – массовая концентрация твердой фазы в растворителе в состоянии насыщения. Соотношение (2) и (3) с учетом закона Дарси из (1) могут быть представлены в виде:

$$\frac{k_1}{\mu_1}\frac{\partial p_1}{\partial r}=-m\frac{(1-g)\rho_s\nu+g\rho_1}{g\rho_1}\frac{dr_{(12)}}{dt},\ \frac{k_2}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial r}=-m\frac{g\rho_2(1-\nu)+\rho_s\nu}{g\rho_2}\frac{dr_{(12)}}{dt},(r=r_{(12)})\qquad(4)$$

На границе между второй и третьей зонами полагаем условие несмешивающегося вытеснения. Тогда для этого условия, выражающего, что данная граница является и поверхностью контактного разрыва, можем записать:

$$\rho_2 m_2\left(\upsilon_2-\frac{dr_{(23)}}{dt}\right)=\rho_3 m_3\left(\upsilon_3-\frac{dr_{(12)}}{dt}\right)=0,\ (r=r_{(23)}).$$

Отсюда, с учетом закона Дарси из (1) имеем:

$$\frac{k_2}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial r}=\frac{k_3}{\mu_3}\frac{\partial p_3}{\partial r}=-m(1-\nu)\frac{dr_{(23)}}{dt},\ (r=r_{(23)}).\qquad(5)$$

При плоскоодномерной схеме фильтрации эта задача имеет автомодельное решение.

$$p_1=p_e+(p_{(12)}-p_{(e)})\frac{\int_0^{\xi}\exp(-\frac{\xi'^2}{4})d\xi'}{\int_0^{\xi_{(12)}}\exp(-\frac{\xi'^2}{4})d\xi'},\ (0<\xi<\xi_{(12)}),$$

$$p_2=p_{(12)}+(p_{(23)}-p_{(12)})\frac{\int_{\xi_{(12)}}^{\xi}\exp(-\frac{\xi'^2}{4\eta_2})d\xi'}{\int_{\xi_{(12,}}^{\xi_{(23)}}\exp(-\frac{\xi'^2}{4\eta_2})d\xi'},\qquad(\xi_{(12)}<\xi<\xi_{(23)}),$$

$$p_3=p_{(23)}+(p_{(0)}-p_{(23)})\frac{\int_{\xi_{(23)}}^{\xi}\exp(-\frac{\xi'^2}{4\eta_3})d\xi'}{\int_{\xi_{(23)}}^{\infty}\exp(-\frac{\xi'^2}{4\eta_3})d\xi'},\qquad(\xi_{(12)}<\xi<\infty),$$

Используя эти решения на основе граничных условий (4) и (5), можно получить трансцендентные уравнения для определения в автомодельных переменных координат границ $\xi_{(12)}$ и $\xi_{(23)}$ между зонами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шагапов В.Ш. Задача о закачке растворителя в пористую среду, подверженную «склерозу» / В.Ш. Шагапов, Г.Я. Хусаинова // ИФЖ. 2000. №2.
2. Хусаинов И.Г. Тепловые процессы при акустическом воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду / И.Г. Хусаинов // Вестник Башкирского университета. – 2013. – Т. 18. – № 2. – С. 350-353.

BOTTOM-HOLE SOLVENTS CLEANING

Khusainova Guzalija Jadkarovna
CF BashGU, Sterlitamak
gkama@mail.ru

Abstract. Problem of solvent pumping in porous environment littered through solid deposits (for example paraffins, bitumens) is considered. Similar solutions describing pressure and speed distribution are received in terms of plainly-one-dimensional filtration pattern.
Keywords: pumping, solvent, filtration, similar solution, clear zone

УДК 550.8.013

АППРОКСИМАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ВНУТРЕННИХ ЗАДАЧ ДИРИХЛЕ И НЕЙМАНА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА

Черноскутов Александр Игоревич
УрФУ, г. Екатеринбург
endoftheworld@bk.ru

Аннотация. При решении обратной задачи гравиметрии одним из начальных шагов является получение первой аппроксимации решения, которое оказывает существенное влияние на итоговый результат в силу некорректности постановки задачи. Обычно для построения начального приближения используют априорную информацию о распределении плотности, полученную, например, в результате бурения или других способов геологоразведки. Однако, данная информация часто имеет разрозненный характер: точки изучаемой области с известным распределением разделены большим (по сравнению с шагом сетки) расстоянием и распределены неравномерно. Чтобы «распространить» имеющуюся в изолированных точках информацию на всю область, необходимо выбрать способ интерполяции. Одним из таких способов является поиск решения двумерного уравнения Лапласа с краевыми условиями Дирихле или Неймана, так как результатом является гладкая функция без локальных экстремумов, то есть наиболее естественно соединяющая промежутки между известными значениями функции распределения плотности и не порождающая аномалии.
Ключевые слова: двумерное уравнение Лапласа, задача Дирихле, задача Неймана, численные методы

Двумерная внутренняя задача Дирихле в области $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ описывается уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

и имеет краевое условие первого рода:

$$u|_{\partial\Omega} = f(x, y).$$

Пусть область Ω – прямоугольник, для построения численного решения, проведем ее дискретизацию с шагом h_x и h_y вдоль координат x и y, соответственно. Оператор второй производной аппроксимируем с помощью формул численного дифференцирования (2).

$$u_i'' \approx \frac{1}{h^2}[u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}]$$
$$u_i'' \approx \frac{1}{12h^2}[-u_{i-2} + 16u_{i-1} - 30u_i + 16u_{i+1} - u_{i+2}]$$

Для повышения точности решения было решено использовать формулы 4-го порядка точности там, где это позволяет сетка.

Краевое условие задается следующим образом. Узлы сетки области Ω, попадающие в область определения f, считаются известными значениями функции u. Обозначим количество таких узлов как L. Каждому неизвестному значению $u_{i,j} = u(x_i, y_j), x_i = x_0 + ih_x,\ y_j = y_0 + jh_y,\ i \in [0, N], j \in [0, M]$ ставится в соответствие неизвестное $\bar{x}_k, k \in [0, K], K = N \times M - L$. Затем, согласно выражениям (3,4) составляются K линейных уравнений. Если вблизи узла с неизвестным значением u есть узел с известным значением, то используется «пятиточечная» формула (3), иначе используется «девятиточечная» формула (4).

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, y_i) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}(x_i, y_i) \approx$$
$$\approx \frac{1}{h_x}\left[u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j}\right] + \frac{1}{h_y}\left[u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1}\right] = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, y_i) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}(x_i, y_i) \approx$$
$$\approx \frac{1}{12h_x}\left[-u_{i-2,j} + 16u_{i-1,j} - 30u_{i,j} + 16u_{i+1,j} - u_{i+2,j}\right] +$$
$$+ \frac{1}{12h_y}\left[-u_{i,j-2} + 16u_{i,j-1} - 30u_{i,j} + 16u_{i,j+1} - u_{i,j+2}\right] = 0 \quad (4)$$

Решая полученную СЛАУ, получаем дискретное представление u.

Так как мы решаем внутреннюю задачу, необходимо, чтобы все значения по периметру области дискретизации были известны. Внутри области, произвольные узлы могут иметь или не иметь известное значение u.

Заметим, что по причине того, что задача имеет единственное решение, составленная СЛАУ получается хорошо обусловленной и может быть решена многими «стандартными» численными методами.

Перейдем к рассмотрению задачи Неймана, которая также описывается уравнением (1), но имеет следующее краевое условие:

$$\left.\frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{n}}\right|_{\partial\Omega} = g(x, y),$$

где $\boldsymbol{n}$ – внешняя нормаль к границе области Ω.

Как и в случае задачи Дирихле, мы проводим аналогичную дискретизацию области Ω. В данном случае, функция u неизвестна во всех узлах области.

С целью упрощения, будем решать задачу только для двух случаев геометрии области:

1. g определена только в узлах по периметру прямоугольной области Ω. Задача решается для всех узлов области Ω.

2. g определена в узлах по периметру Ω и внутри Ω в виде прямоугольного контура. Задача решается для всех узлов области Ω, лежащих между «внешней» и «внутренней» частями g.

Направления производной в узлах сетки, для которых задано краевое условие, коллинеарны осям координат и направлены на левой и правой границе – против и по оси абсцисс, соответственно, на нижней и верхней границе – против и по оси ординат, соответственно. Рисунок поясняет данный принцип (рис. 1). Жирным контуром обозначены узлы с заданным краевым условием, серым – область решения задачи.

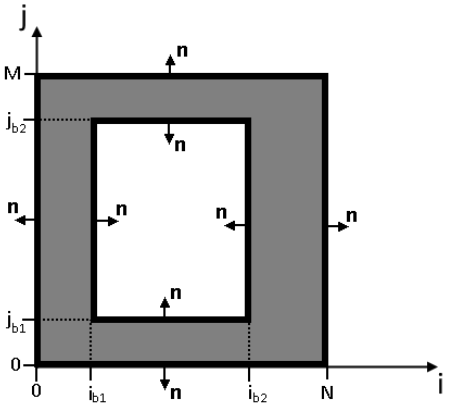


Рис. 1. Направления внешних нормалей при задании краевого условия для задачи Неймана

В связи с данным упрощением, нормальная производная на границе совпадает с частной производной u по одной из переменных с точностью до знака:

$$\frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{n}}(x_i, y_j) = -\frac{\partial u}{\partial x}(x_i, y_j),\ i = 0, j \in [0, M];\quad i = i_{b2}, j \in [j_{b1}, j_{b2}];$$
$$\frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{n}}(x_i, y_j) = \frac{\partial u}{\partial x}(x_i, y_j),\ i = N, j \in [0, M];\quad i = i_{b1}, j \in [j_{b1}, j_{b2}];$$
$$\frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{n}}(x_i, y_j) = -\frac{\partial u}{\partial y}(x_i, y_j),\ j = 0, i \in [0, N];\quad j = j_{b2}, i \in [i_{b1}, i_{b2}];$$
$$\frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{n}}(x_i, y_j) = \frac{\partial u}{\partial y}(x_i, y_j),\ j = M, i \in [0, N];\quad j = j_{b1}, i \in [i_{b1}, i_{b2}].$$

Так, с помощью выражений (3,4) составляются уравнения для всех узлов u, в которых не задано краевое условие, и с помощью выражений (5) – для тех, в которых оно задано.

$$u'_{i,j} \approx \frac{1}{2h}\left[-3u_{i,j} + 4u_{i+1,j} - u_{i+2,j}\right] = g(x_i, y_j),$$
$$i = 0, j \in [0, M];\quad i = i_{b1}, j \in [j_{b1}, j_{b2}];$$
$$u'_{i,j} \approx \frac{1}{2h}\left[u_{i-2,j} - 4u_{i-1,j} + 3u_{i,j}\right] = g(x_i, y_j),$$
$$i = N, j \in [0, M];\quad i = i_{b2}, j \in [j_{b1}, j_{b2}];$$
$$u'_{i,j} \approx \frac{1}{2h}\left[-3u_{i,j} + 4u_{i,j+1} - u_{i,j+2}\right] = g(x_i, y_j),$$
$$j = 0, i \in [0, N];\quad j = j_{b1}, i \in [i_{b1}, i_{b2}];$$
$$u'_{i,j} \approx \frac{1}{2h}\left[u_{i,j-2} - 4u_{i,j-1} + 3u_{i,j}\right] = g(x_i, y_j),$$
$$j = M, i \in [0, N];\ j = j_{b2}, i \in [i_{b1}, i_{b2}]. \quad (5)$$

В отличие от задачи Дирихле, составленная для задачи Неймана СЛАУ, не является столь же хорошо обусловленной. На это есть две причины: первая - решение u ищется с точностью до константы, то есть оно не единственно, и вторая – необходимым условием разрешимости задачи является выполнение равенства (6), что сопряжено с трудностями при численном задании граничного условия.

$$\oint_{\partial\Omega} g(x, y)dS = 0. \quad (6)$$

В связи с этим, для достижения лучшей сходимости СЛАУ, ее необходимо решать как задачу минимизации квадратичного функционала (которым является квадрат нормы невязки правой и левой частей СЛАУ).

В ходе реализации алгоритма построения СЛАУ на ЭВМ, матрица системы получается сильно разряженной, ее ненулевые элементы сосредоточены вблизи главной диагонали. Это позволяет решать задачу на сетках больших размерностей, так как отсутствие необходимости хранить всю матрицу системы, приводит к экономии ресурсов ЭВМ. В ходе проведения численных экспериментов максимальные размеры сетки для u достигали 10^7 узлов. При этом количество ненулевых элементов основной матрицы системы примерно можно оценить как 9×N×M. На рис. 2 и 3 приведены графики результатов решения задачи Дирихле и Лапласа, соответственно. Граничные условия были искусственно сгенерированы. Решение системы проводилось на графических ускорителях с помощью технологии CUDA и с использованием библиотеки CUSP [3]. Численный эксперимент проводился на сетке 1800×2500 с $4.5 \cdot 10^6$ неизвестных узлов. Для решения полученной СЛАУ использовался метод сопряженных градиентов. Счет производился до достижения относительной невязки 10^{-4}. Используя один ускоритель GTXTITANX, решение задачи при описанных параметрах, занимает менее одной минуты.

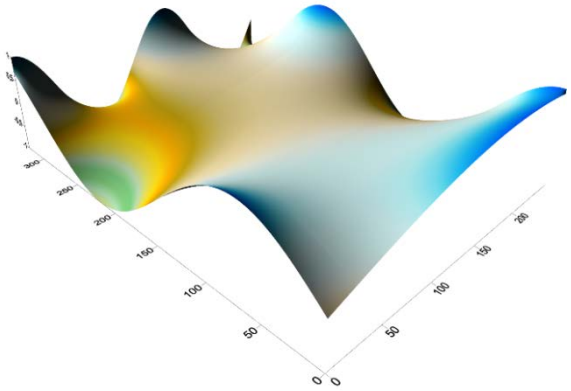


Рис. 2. График решения задачи Дирихле

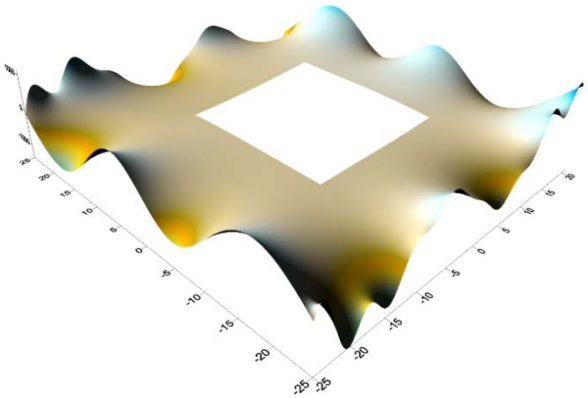


Рис. 3. График решения задачи Неймана

На рисунке (рис. 4) приведен результат решения задачи Дирихле на реальных геофизических данных: построение гладкого продолжения гравитационного поля Уральского региона за пределы планшета (размер сетки: 1937x2672). Данное продолжение необходимо при решении обратной задачи во избежание появления аномалий в координатах, близких к краю планшета, где поле (без использования продолжения) испытывает скачек.

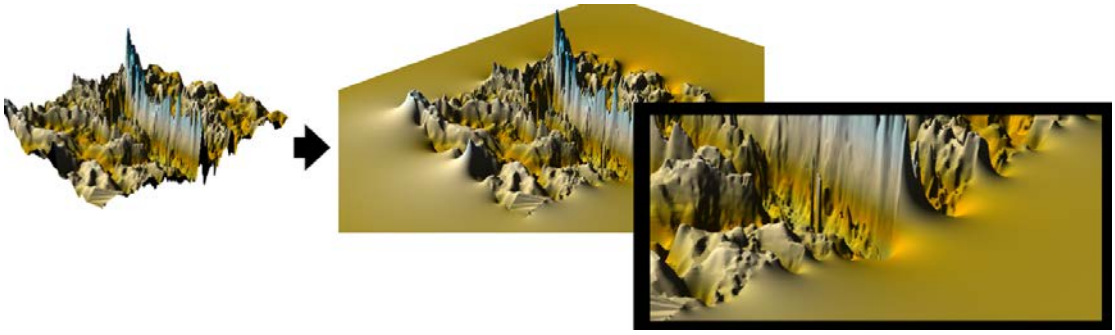


Рис. 4. График решения задачи Дирихле. Продолжение поля за пределы планшета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков,. Г. М. Кобельков. — 6-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
2. Калиткин Н. Н. Численные методы. — М.: Наука, 1978.
3. CUSP: Main Page. A library for sparse linear algebra and graph computations. [Электронный ресурс] // NVIDIA Corporation, 2014. URL: https://cusplibrary.github.io/ (дата обращения: 17.02.2017).

GEOPHYSICAL DATA APPROXIMATION USING NUMERICAL SOLUTION OF THE INTERNAL 2D DIRICHLET AND NEUMANN PROBLEM FOR LAPLACE'S EQUATION

Alexander I. Chernoskutov
UrFU, Yekaterinburg
endoftheworld@bk.ru

Abstract. In solving process of inverse gravity problem one of the first steps is getting initial solution approximation, which can considerably affect final result through problem illposedness. Usually some prior information is being used as initial approximation, gathered, for instance, during geological surveys. Such information, however, is often largely scattered or unevenly distributed. One of the ways to data extend on the whole mesh is to solve Dirichlet or Neumann boundary problem for 2D Laplace's equation. It's solution is continuous function without local extremums, that smoothly fills gaps between known function values and does not generates anomalies.
Key words: 2D Laplace's equation, Dirichlet problem, Neumann problem, numerical methods

УДК 550.394.4

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГОДОГРАФОВ РЕФРАГИРОВАННЫХ ВОЛН МЕТОДОМ КОНДРАТЬЕВА

Шарейко Михаил Александрович
СФУ, г. Красноярск
mixail.sharejko.91@mail.ru

Аннотация. Разработан алгоритм, основанный на методе Кондратьева, для построения годографов рефрагированных волн и их интерпретации применительно к решению задач сейсмомикрорайонирования.
Ключевые слова: годограф, сейсмические волны, землетрясения, рефрагированные волны, сейсмомикрорайонирование, метод Кондратьева, КМПВ

Исследование посвящено интерпретации годографов рефрагированных волн, которое применяется при следующей модели изучаемой геосреды: залегании градиентного слоя на полупространстве и отсутствии скачка скоростей на границе сред.

В случае параллельности нагоняемого и нагоняющего годографов разрез следует отождествлять со слоисто-однородной средой, а зарегистрированные волны считать преломленными. В случае не параллельности указанных годографов (при отсутствии

проницания) разрез следует отождествлять с градиентной средой, а волны относить к рефрагированным.

Большинство известных способов интерпретации годографов рефрагированных волн применяется при залегании градиентного слоя на полупространстве и отсутствии скачка скоростей на границе сред (границе второго рода).

При решении прикладных задач по сейсмомикрорайонированию интерпретация годографов сводится к отысканию закона изменения скорости волны в градиентном слое $V=f(h)$ и мощности градиентной толщи H [1].

Для решения указанных задач в инженерной сейсморазведке широко апробирован и хорошо зарекомендовал себя способ Кондратьева, в основе которого лежит представление градиентной среды как предельного случая слоисто-однородной среды при стремлении мощности тонких слоев к нулю [2, 3].

Рассмотрим алгоритм для получения необходимых оценок. Глубина проникновения луча для выбранной произвольной точки годографа определяется по формуле:

$$h_i = \frac{\overline{V_i} \cdot t_{0i}}{2\sqrt{1-(\overline{V_i}/V_i^*)^2}}, \qquad (1)$$

где $\overline{V_i}$ – средняя скорость в точки i;

t_{0i} – значение времени, отсекаемое на оси времен касательной к годографу в точке i=1, 2, 3 … m;

V_i^* – кажущаяся скорость в выбранной i-й точке с координатами t_i, $x_i/2$, равная истинной на глубине максимального проникновения луча h_i.

Величина $\overline{V_i}$ вычисляется по формуле [4-5]:

$$\overline{V_i} = \frac{1}{2}\left[\frac{x_i}{t_i} + \sqrt{\frac{x_i}{t_i}} \cdot V_i^*\right]. \qquad (2)$$

Для построения зависимости $V = f(h)$ на годографе выбирают ряд точек и выполняют вычисления, описанные выше. Результаты всех вычислений $V_i = V^*_i$ и h_i заносят в таблицу, по которой строят график $V = f(h)$ для данного участка наблюдений (рис. 1).

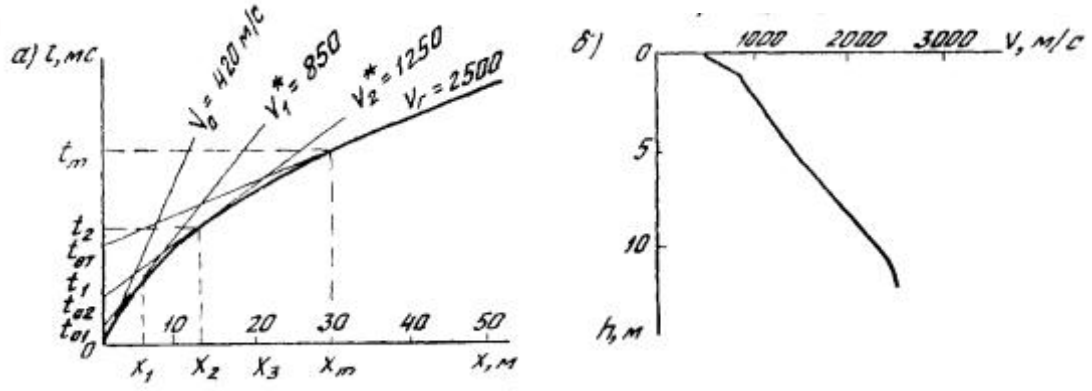


Рис. 1. Интерпретация годографа рефрагированных волн:
а – годограф волн с элементами построений; б – соответствующий ему график изменения скорости в зависимости от глубины (по способу Кондратьева)

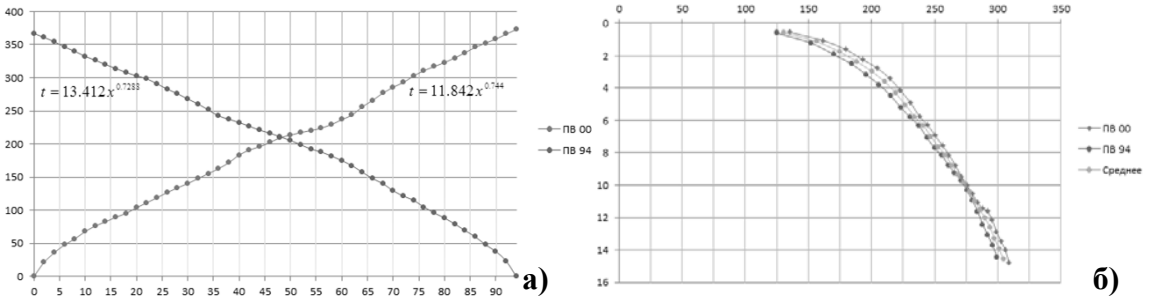
Интерпретация годографов рефрагированных волн для границы первого рода (скачка скоростей) более сложна и трудоемка, поэтому реже производится на практике.

Для годографа рефрагированных волн подбирается зависимость *t=f(x)*, выраженная степенной функцией. К каждой *i*-й точке данной зависимости строится касательная по уравнению:

$$t = f(x_i) + f'(x_i) \cdot (x - x_i). \quad (3)$$

По пересечению касательных с осью времен определяются t_{0i}, а по их наклону кажущиеся скорости $V_i^* = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Результатом всех вычислений является построение зависимости *V=f(h)* для исследуемого участка наблюдений, где $V_i = V_i^*$ (рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Интерпретация сейсмозонда № 25 (этап 2) по S-волнам: а – годографы пунктов возбуждения (ПВ) 00 и 94 с подобранными степенными функциями; б – изменение скорости с глубиной в градиентной среде, рассчитанное для ПВ 00 и ПВ 94 и среднее между ними

Данные графики, представленные в виде рисунка 2, нам показывают, что выбранные функции для описания поведения рефрагированных волн в среде были подобраны верно, это видно из рисунка 2б и не противоречит полученным данным по методу КМПВ, вследствие чего мы узнали поведения сейсмической волны в градиентной среде для интерпретации и годографов рефрагированных волн.

В результате проведенной работы мы получили закон изменения скорости волны в градиентном слое *V=f(h)* и мощности градиентной толщи *H* для изучаемого участка наблюдений. Что позволило правильно интерпретировать годографы и в результате получить более верные скоростные характеристики грунтовой толщи изучаемого участка наблюдения, вследствие чего позволило более верно уточнить исходный балл в задаче по сейсмомикрорайонированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешин А.С. Сейсмическое микрорайонирования особо ответственных объектов / А.С. Алешин. – М.: Светоч Плюс, 2010. С. 304.
2. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности / Ф.Ф. Аптикаев. – М.: ООО «Наука и образование», 2012, С. 176.
3. Гусев А.А. Описательная статистическая модель излучения очага землетрясения и ее применение к оценке сильного движения / А.А. Гусев // Вулканология и сейсмология. 1984. С. 3-22.
4. Уломов В.И. Программа исследований по проблеме «Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии» / В.И. Уломов // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: ОИФЗ РАН, 1993.
5. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования / В.Б. Заалишвили. – М.: ОИФЗ РАН, 2000. С. 367.

© ГИ УрО РАН. 2017

TRAVELTIME CURVE INTERPRETATION OF REFRACTED WAVES USING KONDRATIEV'S METHOD

Mikhail A. Shareiko
SFU, Krasnoyarsk
mixail.sharejko.91@mail.ru

Abstract. Algorithm, based on Kondratiev's method, to build travel time curve of refracted waves and their interpretation in respect to problem solution of seismic microzoning, has been developed.
Key words: travel time curve, seismic waves, earthquakes, refracted waves, Kondratiev's method, seismic microzoning, CMPW

УДК 3179

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ARCGIS ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПЛАНИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Швецова Мария Николаевна
ПГНИУ, г. Пермь
koltourist@yandex.ru

Аннотация. Применение средств геоинформационной системы ArcGIS при оценке сложности проведения сейсморазведочных работ на отдельно выбранном участке исследуемой территории.
Ключевые слова: ГИС, Grid-модель рельефа, уклон, построение буфера, залесенность, заболоченность

В настоящее время геоинформационные технологии находят все большее применение в практике геолого-геофизических работ. Однако использование ГИС обычно ограничивается визуализацией готовых наборов пространственных данных и созданием картографических приложений. Тем не менее, ГИС можно использовать на всех этапах геологоразведочных работ, в том числе и на стадии их планирования.

Целью данной работы является разработка и опробование модели геообработки для определения категории трудности проведения геофизических работ на территории Пермского края.

Основные положения по проектированию геологоразведочных работ изложены в Справочниках укрупненных сметных норм на геологоразведочные работы. В частности, укрупненными нормами предусматриваются 5 категории трудности (табл. 1), каждая из которых содержит характеристику условий производства полевых геофизических работ. Отнесение района работ к той или иной категории трудности производится по совокупности следующих основных факторов: орогидрография местности, вид применяемого транспорта и условия его передвижения.

Для решения поставленной задачи в рамках геоинформационной системы ArcGIS 10.1 была создана персональная база геоданных, которая включала в себя следующие классы пространственных данных: изолинии, озера, реки, afforest_a (леса), marsh_a (болота), road_a (дороги), рамка и контур ВКМКС. В качестве исходной информации были использованы векторные наборы топографических данных карт масштаба 1:200 000 – листы O-40-03, O-40-04, O-40-09, O-40-10 и P-40-33, 34.

Таблица 1

Категории/ Критерии	**I**	**II**	**III**	**IV-V**
Участок	Равнинный, степной или лесостепной	Слабохолмистый, степной или лесостепной с развитой сетью неглубоких оврагов, водотоков	Сильно пересеченный с развитой сетью оврагов, водотоков	Участок горной местности, занятый крупными массивами культур; распространения барханных песков; таежный или сплошь покрытый лесом с буреломом и сплошными зарослями кустарника;
Уклон	<10 градусов	До 20 %	До 25 градусов	Не более 30 градусов
Площадь залесенности, заболоченности и занятостью строениями	20%	До 40%	До 60%	>60%
Площадь пашен и неубранных посевов	До 50%	До 70%	>70%	-
Перемещение аппаратуры и оборудования	Автотранспортом повышенной проходимости с пониженной скоростью	Автотранспортом повышенной проходимости с пониженной скоростью	Автотранспортом повышенной проходимости	В утепленных кузовах вездеходов, тракторами и вездеходами
Объезд	20% расстояний между ПВ	<70% расстояния между ПВ	>70% расстояния между ПВ	-
Смотка-размотка	20% – вручную; 80% – вручную с движущегося транспорта	40% – вручную; 60% – вручную с движущегося транспорта	80% – вручную; 20% – вручную с движущегося транспорта.	Только вручную

Для сшивки информации соседних листов карты была осуществлена векторная трансформация данных методом подгонки границ. Затем была проведена проверка топологии базы геоданных и исправление графических ошибок, образовавшихся в процессе векторизации растровых топографических карт.

На основе топографических данных была создана Grid-модель рельефа поверхности наблюдения. При построении модели использовался метод интерполяции *Топо в растр*. Алгоритм "Топо в растр", реализованный в ArcGIS, учитывает не только пространственное положение изолиний рельефа и отметок высот, но и расположение речной сети, закрытых водоемов (озер), локальных понижений рельефа (колодцев), дорог и

создает скорректированную гипсометрическую поверхность, пригодную для гидрогеологического моделирования.

Grid-модель рельефа (рис. 1) послужила основой для создания растровой модели уклона рельефа. Установлено, что, несмотря на значительный диапазон изменения отметок рельефа (77÷791 м над уровнем моря) на изучаемой территории, крутизна склонов не превышает 10 град. Поэтому весь участок в целом по этому критерию может быть отнесен к равнинной местности, отвечающей 1 категории трудности проведения геофизических работ.

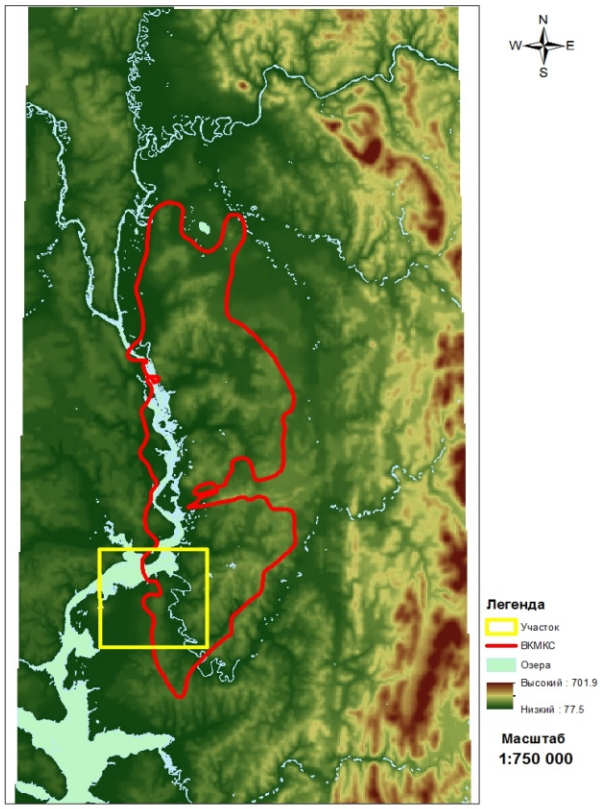


Рис. 1. Карта рельефа поверхности исследуемой территории

Для оценки влияния других факторов на трудоемкость проведения геофизических работ был выбран конкретный участок территории, расположенный на юго-западе региона (рис. 2). Площадь участка составила 715.9 км^2. В пределах площади планировалось проведение сейсмических наблюдений МОГТ по системе 25 криволинейных профилей.

С помощью инструмента «Вырезание» в ArcGIS извлекли для этого участка следующие слои векторных данных: Леса, Озера, Болота, Реки, Дороги. Далее вычислили площадь лесов, расположенных в его пределах, которая равняется 561.7 км^2. Процент залесенности от общей площади составляет 78.5%, что позволяет отнести данный критерии к IV категории сложности.

Болота, преобладающие в юго-западной части рассматриваемого участка, занимают площадь, равную 59.2 км^2, примерно 8.26% от общей площади всего района работ. Это позволяет отнести данный участок по фактору заболоченности также к I категории.

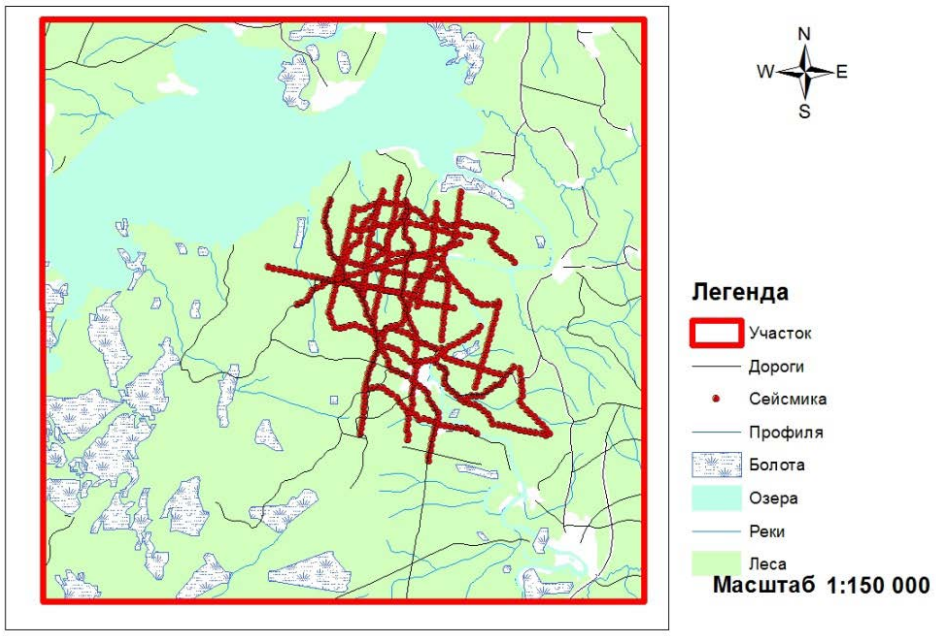


Рис. 2. Участок исследования

Для оценки развитости дорожной сети и возможности ее использования при отработке сейсмических профилей было выполнено построение буферных зон вокруг сейсмических профилей, размеры которых составил 20% и 60% от длины профилей. Анализ показал, дороги, которые можно использовать для передвижения автотранспорта, сосредоточены, главным образом, на расстоянии, превышающем 40% от длины профилей, что позволяет отнести данную территорию к III категории трудности проведения работ. Таким образом, площадь проведения сейсморазведочных работ по суммарному влиянию всех факторов можно отнести ко IV категории сложности.

В дальнейшем предполагается создание модели геообработки с целью автоматизации расчета трудности проведения геофизических работ на любом участке территории севера Пермского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник сметных норм на геологоразведочные работы (ССН). Выпуск 3. Геофизические работы. Часть 1. Сейсморазведка. – М., 1992.

USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM ARCGIS FOR PLANNING GEOPHYSICAL SURVEYS

Shvetsova Maria
Perm State University, Perm
koltourist@yandex.ru

Abstract. Application of geographic information system ArcGIS in seismic survey complexity evaluation of certain location of choice on study area is considered in the paper.
Key words: GIS, terrain model (Grid), drift, conversion, forest coverage, swampiness

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абубакиров Искандер Радиевич
air@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН

Авдалян Арман Грачович
arman.avdalyan.1981@mail.ru
Гюмри, Республика Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

Айкашева Надежда Александровна
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
ООО «Гелиос»

Акбашев Ринат Рафикович
ice@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН
Научный руководитель
Фирстов Павел Павлович, д.ф.-м.н.

Артиков Фарход Рустамович
Ташкент, Узбекистан
Институт сейсмологии АН РУз

Асминг Владимир Эрнестович
AsmingVE@mail.ru
Апатиты
Кольский филиал Единой геофизической службы РАН

Афонин Никита Юрьевич
afoninnikita@inbox.ru
Архангельск
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
Научный руководитель
PhD Elena Kozlovskaya

Баженова Евгения Анатольевна
bazenova_jena@mail.ru
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН
Научный руководитель
Астраханцев Юрий Геннадьевич, д.т.н.

Байдиков Сергей Владимирович
badikek@mail.ru
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН

Башкеев Аюр Саянович
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
ООО «Гелиос»

Белевская Мария Александровна
Пермь
Горный институт УрО РАН,
Единая геофизическая служба РАН

Белов Владимир Александрович
belov-1992@yandex.ru
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
ООО «Гелиос»
Научный руководитель
Давыденко Юрий Александрович, к.т.н.

Бобров Валерий Юрьевич
bvy1692@gmail.com
Пермь
Горный институт УрО РАН

Богданович Денис Васильевич
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
ООО «Гелиос»

Бондарчук Денис Георгиевич
Абакан
Центр управления в кризисных ситуациях ГУ МЧС России по Республике Хакасия

Будяк Александр Евгеньевич
Иркутск
Институт Геохимии СО РАН

Бутырин Павел Генрихович
pbg2000@mail.ru
Пермь
Горный институт УрО РАН

Варлашова Юлия Викторовна
ivanova@mi-perm.ru
Пермь
Горный институт УрО РАН,
Единая геофизическая служба РАН
Научный руководитель
Маловичко Алексей Александрович, член-корр. РАН

Вдовин Алексей Геннадьевич
agvd@bk.ru
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН
Научный руководитель
Астраханцев Юрий Геннадьевич, д.т.н.

Верхоланцев Александр Викторович
vercholancev@gmail.com
Пермь
Горный институт УрО РАН
Научный руководитель
Дягилев Руслан Андреевич, к.ф.-м.н.

Верхоланцев Филипп Геннадьевич
sombra@mail.com
Пермь
Горный институт УрО РАН,
Единая геофизическая служба РАН

Войтова Анастасия Сергеевна
voitova.as@gmail.com
Пермь
Единая геофизическая служба РАН,
Горный институт УрО РАН
Научный руководитель
Габсатарова Ирина Петровна, к.ф.-м.н.

Ворошилов Владислав Алексеевич
Vlad13a@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научные руководители
Пугин Алексей Витальевич, к.ф.-м.н.
Герасимова Ирина Юрьевна, к.т.н.

Габбасов Эмиль Ильдарович
gabbasov.ie@gmail.com
Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный университет

Галин Айнур Жамилович
sales@dsys.ru
Обнинск
ООО «ДСис»

Ганнибал Андрей Евгеньевич
han_a_e@mail.ru
Апатиты
Кольский филиал Единой геофизической службы РАН

Гаспарян Амлет Сергеевич
hamlet1952@mail.ru
Гюмри, Республика Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Научный руководитель
Оганесян Амаяк Оганесович

Геодакян Наира Эдуардовна
geodakyan.e@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

Геодакян Эдуард Григорьевич
geodakyan.e@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

Гоев Андрей Георгиевич
a.g.goev@gmail.com
Москва
Институт динамики геосфер РАН
Научный руководитель
Санина Ирина Альфатовна, д.ф.-м.н.

Голубева Инга Викторовна
gol@hotbox.ru
Пермь
Горный институт УрО РАН,
Единая геофизическая служба РАН

Гореявчева Анастасия Александровна
Lapkovskaya.a.a@gmail.com
Новосибирск
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
Научный руководитель
Оленченко Владимир Владимирович, к.г.-м.н.

Горшков Виталий Юрьевич
vitalaa@yandex.ru
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН

Григоревская Алина Владимировна
GrigorevskayaAV@ipgg.sbras.ru
Новосибирск
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Научный руководитель
Оленченко Владимир Владимирович, к.г.-м.н.

Гринин Владислав Николаевич
grinin.vlad1@gmail.com
Архангельск
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН

Гусев Александр Александрович
gusev@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Гусева Наталья Сергеевна
natali.guseva.2010@mail.ru
Пермь
Горный институт УрО РАН
Научный руководитель
Дягилев Руслан Андреевич, к.ф.-м.н.

Давыденко Юрий Александрович
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет, ООО «Гелиос», Институт земной коры СО РАН

Данилов Алексей Викторович
danilov.aleksey.vikt@gmail.com
Архангельск
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
Научные руководители
Капустян Наталия Константиновна, д.ф.-м.н.; Антоновская Галина Николаевна, к.т.н.

Данилов Константин Борисович
danilov_kostea@mail.ru
Архангельск
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
Научные руководители
Капустян Наталия Константиновна, д.ф.-м.н.; Антоновская Галина Николаевна, к.т.н.

Демин Андрей Алексеевич
Иркутск
ООО «Гелиос»

Диханов Ерлан Нургалиевич
Dikhanov@bk.ru
Караганда, Казахстан
ТОО «Корпорация Казахмыс»
Научный руководитель
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

Ефименко Ольга Сергеевна
olga91.06@yandex.ru
Харьков, Украина
Харьковский политехнический университет
Научный руководитель
Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

Ефименко Сергей Анатольевич
serg_yef@mail.ru
Караганда, Казахстан
ТОО «Корпорация Казахмыс»

Ефремова Дарья Николаевна
Новосибирск
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Заключнов Игорь Сергеевич
i.zaklyuchnov@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Митюнина Ирина Юрьевна, к.г.-м.н.

Згогурина Полина Сергеевна
polina_120596@mail.ru
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Пригара Андрей Михайлович, к.т.н.

Злобина Татьяна Викторовна
tati.verkholantseva@gmail.com
Пермь
Горный институт УрО РАН
Научный руководитель
Дягилев Руслан Андреевич, к.ф.-м.н.

Искоркина Альбина Альбертовна
iskorkina.a@mail.ru
Томск
Томский политехнический университет
Научный руководитель
Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Исламгалиев Дмитрий Владимирович
dif1205@mail.ru
Екатеринбург
Уральский государственный горный университет
Научный руководитель
Ратушняк Александр Николаевич, к.т.н.

Кайтукаев Алексей Русланович
xronix70@gmail.com
Томск
Томский политехнический университет
Научный руководитель
Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Калашникова Мария Михайловна
Пермь
Горный институт УрО РАН

Калинина Элеонора Владимировна
elakalinina@gmail.com
Воронеж
Воронежский государственный университет, Единая геофизическая служба РАН
Научный руководитель
Надежка Людмила Ивановна, к.г.-м.н.

Камнев Ярослав Константинович
loteut@gmail.com
Салехард
Научный центр изучения Арктики

Кичигин Максим Викторович
kichiginmv@mi-perm.ru
Пермь
Горный институт УрО РАН

Копытин Валерий Валерьевич
Пермь
Горный институт УрО РАН

Королёв Сергей Анатольевич
Москва
Институт динамики геосфер РАН

Косарев Григорий Леонидович
kosarev@ifz.ru
Москва
Институт физики земли
им. О.Ю. Шмидта РАН

Красовский Дмитрий Александрович
Екатеринбург
Уральский федеральный университет
Научный руководитель
Цидаев Александр Григорьевич

Кропотина Ксения Константиновна
ksu240594@mail.ru
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Колесников Владимир Петрович, д.т.н.

Кулакова Наталья Валерьевна
kulakva@gmail.ru
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Митюнина Ирина Юрьевна, к.г.-м. н.

Ласкина Татьяна Андреевна
ognewatania@yandex.ru
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Колесников Владимир Петрович, д.т.н.

Макаров Дмитрий Викторович
makarov@inep.ksc.ru
Апатиты
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Малышев Михаил Викторович
Malyshev_mv@bk.ru
Самара
Самарский государственный технический университет
Научный руководитель
Гусев Владимир Васильевич, к.г.-м.н.

Махкамов Сакиджан Махкамович
Ташкент, Узбекистан
Ташкентский архитектурно-строительный институт

Мехоношин Роман Олегович
mekhrom@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Колесников Владимир Петрович, д.т.н.

Михайлова Яна Александровна
mikhailovayana@gmail.com
Архангельск
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
Научный руководитель
Морозов Алексей Николаевич, к.т.н.

Михеев Сергей Иванович
S.mixeev@gmail.com
Саратов
Саратовский государственный университет

Мкртчян Мери Артушовна
mary-mary-86@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Научный руководитель
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

Мурадян Айцемик Размиковна
aicem@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

Мурыськин Алексей Сергеевич
muriskinas@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Митюнина Ирина Юрьевна, к.г.-м. н.

Новикова Полина Николаевна
polinagfz@gmail.com
Пермь
Горный институт УрО РАН, Пермский государственный национальный исследовательский университет

Оганесян Амаяк Оганесович
hmayak.hovhannisyan@bk.ru
Гюмри, Республика Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

Оганнисян Айкуи Левоновна,
haykuhi.mkrtchyan.1987@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Научный руководитель
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

Оленченко Владимир Владимирович
OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru
Новосибирск
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Ототюк Дмитрий Анатольевич
oppets2@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН

Павлов Виктор Михайлович
pvm@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН

Петров Сергей Александрович
sales@dsys.ru
Обнинск
ООО «ДСис»

Полянский Павел Олегович
PPavel6.10@gmail.com
Новосибирск
Алтае-Саянский филиал Единой геофизической службы РАН
Научный руководитель
Еманов Александр Федорович, д.т.н.

Ризниченко Оксана Юрьевна
oksanastp@mail.ru
Москва
Институт физики земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Родионов Александр Игоревич
fabian4695@gmail.com
Петрозаводск
Институт геологии КарНЦ РАН
Научный руководитель
Шаров Николай Владимирович, д.г.-м.н.

Рязанцев Павел Александрович
chthonian@yandex.ru
Петрозаводск
Институт геологии КарНЦ РАН
Научный руководитель
Шаров Николай Владимирович, д.г.-м.н.

Саакян Бабкен Вазгенович
sahakyan_babken@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Научный руководитель
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

Садыгов Антон Вагифович
sadygov@gmail.com
Архангельск

Санина Ирина Альфатовна
irina@idg.chph.ras.ru
Москва
Институт динамики геосфер РАН

Санникова Елена Павловна
SannikowaEP@mail.ru
Саратов
Саратовский государственный университет
Научный руководитель
Михеев Сергей Иванович, д.г.-м.н.

Саргсян Рудольф Суренович
rudolf90sargsyan@gmail.com
Гюмри, Республика Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

Саргсян Сара Нориковна
sara.sargsian@mail.ru
Гюмри, Армения
Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Научный руководитель
Геодакян Эдуард Григорьевич, к.ф.-м.н.

Селетков Илья Алексеевич
seletkov.ilya@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научные руководители
Пугин Алексей Витальевич, к.ф.-м.н.
Герасимова Ирина Юрьевна, к.т.н.

Семенов Андрей Михайлович
nadezhka@geophys.vsu.ru
Воронеж
Единая геофизическая служба РАН
Научный руководитель
Надежка Людмила Ивановна, к.г.-м.н.

Сергеев Константин Сергеевич
dzin@protonmail.com
Москва
Институт динамики геосфер РАН
Научный руководитель
Королёв Сергей Анатольевич, к.т.н.

Сергеев Сергей Ильич
Москва
Институт динамики геосфер РАН,
НТК «Союзтехнопроект»

Скоркина Анна Александровна
anna@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН
Научный руководитель
Гусев Александр Александрович, д.ф.-м.н.

Старикович Екатерина Николаевна
Пермь
Горный институт УрО РАН,
Единая геофизическая служба РАН

Стоцкий Виталий Валерьевич
Stotskiy_VV@sibmail.com
Томск
Томский политехнический университет
Научный руководитель
Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Субботин Павел Алексеевич
Пермь
Горный институт УрО РАН

Темиров Павел Альбертович
Пермь
Горный институт УрО РАН

Тирских Нина Игоревна
Muaythai1921@yandex.ru
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Научный руководитель
Давыденко Юрий Александрович, к.т.н.

Тихомиров Филипп Александрович
happystudent10@gmail.com
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научные руководители
Пугин Алексей Витальевич, к.ф.-м.н.
Герасимова Ирина Юрьевна, к.т.н.

Тихонов Андрей Игоревич
Москва
НТК «Союзтехнопроект»

Тусикова Светлана Андреевна
svetabon@list.ru
Хабаровск
Институт тектоники и геофизики ДВО РАН
Научный руководитель
Трофименко Сергей Владимирович, д.г.-м.н.

Фаустова Анастасия Юрьевна
missmcguiness11@gmail.com
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Научный руководитель
Давыденко Юрий Александрович, к.т.н.

Федоренко Ирина Валентиновна
fedorenko.irina.v@yandex.ru
Архангельск
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
Научный руководитель
Капустян Наталия Константиновна, д.ф.-м.н.

Федоров Андрей Викторович
Andrey@krsc.ru
Апатиты
Кольский филиал Единой геофизической службы РАН

Федосов Максим Андреевич
fedosov-maksimil@mail.ru
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич
hamidov-l@mail.ru
Ташкент, Узбекистан
Институт сейсмологии АН РУз

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич
Ташкент, Узбекистан
Институт сейсмологии АН РУз,
Национальный Центр геодезии и картографии РУз
Научный руководитель
Зияудинов Фатхидин Фахридинович, д.ф.-м.н.

Хацкевич Богдан Дмитриевич
disaybl@yandex.ru
Екатеринбург
Институт геофизики УрО РАН
Научный руководитель
Демежко Дмитрий Юрьевич, д.г.-м.н.

Хусаинова Гузалия Ядкаровна
gkama@mail.ru
Стерлитамак
Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Цидаев Александр Григорьевич
atsidaev@gmail.com
Екатеринбург
Уральский федеральный университет,
Институт геофизики УрО РАН

Чебров Данила Викторович
danila@emsd.ru
Петропавловск-Камчатский
Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН

Черноскутов Александр Игоревич
endoftheworld@bk.ru
г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет

Шарейко Михаил Александрович
mixail.sharejko.91@mail.ru
Красноярск
Сибирский федеральный университет
Научный руководитель
Перетокин Сергей Анатольевич, к.т.н.

Шаханов Амирхан Мухитжанович
Караганда, Казахстан
ТОО «Корпорация Казахмыс»

Швецова Мария Николаевна
koltourist@yandex.ru
Пермь
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Научный руководитель
Митюнина Ирина Юрьевна, к.г.-м. н.

Шеин Александр Николаевич
SheinAN@ipgg.sbras.ru
Новосибирск
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Забайкальский государственный университет

Шкиря Михаил Сергеевич
Иркутск
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Эргешов Ихтиёр Махкамбоевич
Ташкент, Узбекистан
Национальный Центр геодезии и картографии РУз

Содержание

АКБАШЕВ Р.Р., МЕЛЬНИКОВ Д.В., ФИРСТОВ П.П. Вариации градиента потенциала атмосферного электрического поля во время прохождения эруптивного облака от извержения вулкана Шивелуч 17.12.2016 г. (Камчатка) 3

АФОНИН Н.Ю., ДАНИЛОВ К.Б. Особенности систем наблюдения при комплексном применении пассивных сейсмических методов изучения строения верхней части земной коры 8

БАЖЕНОВА Е.А., ФЕДОСОВ М.А. Результаты комплексирования геофизических методов в рудных скважинах 12

БЕЛОВ В.А., АЙКАШЕВА Н.А., ДЕМИН А.А., ФАУСТОВА А.Ю., ДАВЫДЕНКО Ю.А. Результат одномерной и трехмерной инверсии данных импульсной электроразведки в пределах Стрельцовского рудного поля 17

БОБРОВ В.Ю. Необходимость проведения пространственных инженерных сейсморазведочных работ 21

ВДОВИН А.Г. Выделение титаномагнетитовых и железисто-кварцитовых руд по стволу скважины методом электромагнитного излучения 25

ВЕРХОЛАНЦЕВ А.В. Применение спектрального анализа поверхностных волн в рамках работ по СМР 28

ВОЙТОВА А.С. Обзор сейсмичности Северо-Западного Кавказа за 2016 год по инструментальным данным 32

ВОРОШИЛОВ В.А., СЕЛЕТКОВ И.А., ТИХОМИРОВ Ф.А. Комплексные геофизические исследования карстующегося массива Ледяной горы 36

ГАББАСОВ Э.И. Спектральное моделирование геофизических полей 51

ГАЛИН А.Ж., ПЕТРОВ С.А. Принцип работы АЦП с разрядностью в 24 бита, применяемые в регистрирующем оборудовании GURALP 52

ГАСПАРЯН А.С., ОГАНЕСЯН А.О., САРГСЯН Р.С., АВДАЛЯН А.Г. О сравнительной характеристике предельных магнитуд землетрясений Анатолийско-Кавказско-Иранского региона 56

ГОЕВ А.Г., КОСАРЕВ Г.Л., САНИНА И.А., РИЗНИЧЕНКО О.Ю. Верхняя мантия Русской платформы. Результаты предыдущих исследований и новые данные 61

ГОРЕЯВЧЕВА А.А., ЕФРЕМОВА Д.Н., ОЛЕНЧЕНКО В.В. Двумерная геоэлектрическая модель широтной зональности многолетнемёрзлых толщ 63

ГОРШКОВ В.Ю., БАЙДИКОВ С.В. Применение дистанционного индуктивного зондирования для изучения состояния грунтовой плотины 67

ГРИГОРЕВСКАЯ А.В., ОЛЕНЧЕНКО В.В., ШЕИН А.Н., КАМНЕВ Я.К. Применение георадиолокации для изучения деятельного слоя 70

ГУСЕВА Н.С., БЕЛЕВСКАЯ М.А., ВАРЛАШОВА Ю.В., ВЕРХОЛАНЦЕВ Ф.Г., ВОЙТОВА А.С., ГОЛУБЕВА И.В., ЗЛОБИНА Т.В., СТАРИКОВИЧ Е.Н. Обзор сейсмичности Уральского региона за 2016 год 74

ДАНИЛОВ А.В. Сейсмические проявления ледниковой активности на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа 79

ЕФИМЕНКО О.С., ШАХАНОВ А.М., ДИХАНОВ Е.Н., ЕФИМЕНКО С.А., МАКАРОВ Д.В. Многокомпонентный «on-line» контроль руд, поступающих на переработку на Жезказганские обогатительные фабрики ТОО «Корпорация Казахмыс» 83

ЗАКЛЮЧНОВ И.С. Использование многомерного анализа при динамической интерпретации сейсмических данных 89

ЗГОГУРИНА П.С. Детальное изучение свойств среды с помощью электротомографии 93

ИСКОРКИНА А.А., СТОЦКИЙ В.В. Оценка влияния палеоклиматических факторов на геотермический режим нефтематеринских отложений Арктических районов Западной Сибири (на примере Ямала) 96

ИСЛАМГАЛИЕВ Д.В. Математическая модель генерации электрического поля адсорбции, диффузии и течения в методе спонтанной поляризации 100

КАЙТУКАЕВ А.Р. Поисковые критерии и технологии картирования залежей сланцевой нефти 102

КАЛИНИНА Э.В., ВОЙТОВА А.С. Некоторые характеристики волнового поля записей промышленных взрывов в карьере «Себряковский» Волгоградской области 106

КИЧИГИН М.В., БУТЫРИН П.Г. Пути развития системы сейсмологического мониторинга Верхнекамского месторождения калийных солей 111

КРАСОВСКИЙ Д.А., ЦИДАЕВ А.Г. Оболочка пешеходного магнитометра для ОС Android 116

КРОПОТИНА К.К., МЕХОНОШИН Р.О. Комплексные электроразведочные исследования в районе Кунгурской ледяной пещеры 118

КУЛАКОВА Н.В. Учет трещиноватости карбонатных коллекторов при подсчете запасов углеводородов 123

ЛАСКИНА Т.А. Электроразведка при решении экологических задач 126

МАЛЫШЕВ М.В. Учет неоднородностей ВЧР на этапе выполнения глубинной миграции сейсмограмм 130

МИХАЙЛОВА Я.А., САДЫГОВ А.В., ГРИНИН В.Н. Программный сервис «Seismology online» 134

МКРТЧЯН М.А., САКЯН Б.В., ГЕОДАКЯН Н.Э. Афтершоковые процессы сильных землетясений на южном склоне центральной части Большого Кавказа 139

МУРЫСЬКИН А.С. Сравнение данных методов георадар и электротомографии на одном профиле 143

НОВИКОВА П.Н., ВОРОШИЛОВ В.А., КОПЫТИН В.В., СУББОТИН П.А., КАЛАШНИКОВА М.М., ТЕМИРОВ П.А. Инженерная магниторазведка при обнаружении подземных коммуникаций в условиях помех техногенного происхождения 147

ОГАННИСЯН А.Л., СААКЯН Б.В., ГЕОДАКЯН Н.Э. Сейсмичность и сейсмический режим Центральной Армении 152

ОТОТЮК Д.А., СКОРКИНА А.А., ЧЕБРОВ Д.В. Обработка сильных землетрясений 2016 г. по регламенту службы срочных донесений в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН 157

ПОЛЯНСКИЙ П.О. Методические вопросы динамического пересчета головных волн на опорных геофизических профилях 161

РОДИОНОВ А.И. Оценка крупности песчано-гравийной смеси методом георадиолокации 166

РЯЗАНЦЕВ П.А. Электроразведочные методы контроля загрязнения среды нефтепродуктами 169

СААКЯН Б.В., ОГАННИСЯН А.Л., МУРАДЯН А.Р. Сейсмотектонические подвижки и напряженно-деформированное состояние земной коры Северной Армении 173

САННИКОВА Е.П., МИХЕЕВ С.И. Развитие технологий вибросейса на основе учета эффекта ангармоничности 178

САРГСЯН С.Н., ГЕОДАКЯН Э.Г. Спектры сейсмических воздействий местных землетрясений и особенности их проявлений на территории Северной Армении 183

СЕМЕНОВ А.М. Некоторые особенности микросейсмического шума в районе сейсмических станций, расположенных на разных континентах 188

СЕРГЕЕВ К.С., СЕРГЕЕВ С.И., КОРОЛЁВ С.А., ТИХОНОВ А.И., БОНДАРЧУК Д.Г. Оперативная оценка интенсивности сейсмических воздействий 191

СКОРКИНА А.А., ГУСЕВ А.А., ПАВЛОВ В.М., АБУБАКИРОВ И.Р. Опробование методик массового определения моментных магнитуд M_W для Камчатских землетрясений 196

ТИРСКИХ Н.И., ШКИРЯ М.С., БЕЛОВ В.А., АЙКАШЕВА Н.А., ДАВЫДЕНКО Ю.А. Результаты применения комплекса геофизических методов с целью изучения тектонически активного разлома на полигоне Биликтуй 201

ТУСИКОВА С.А. Методика и первые результаты линеаментного анализа Алданского щита 206

ФАУСТОВА А.Ю., БОГДАНОВИЧ Д.В., БАШКЕЕВ А.С., АЙКАШЕВА Н.А., БУДЯК А.Е., ДАВЫДЕНКО Ю.А. Результаты трёхмерного моделирования данных электромагнитных зондирований и магниторазведки при поиске золото-сульфидного оруденения (Бодайбинский район) 210

ФЕДОРЕНКО И.В. Спектральные особенности роевой сейсмичности хребта Гаккеля 215

ФЕДОРОВ А.В., АСМИНГ В.Э., ГАННИБАЛ А.Е. Сейсмические проявления активности ледников Шпицбергена 218

ХАЦКЕВИЧ Б.Д. Исследование структуры течений свободной тепловой конвекции в вертикальной водонаполненной трубе с помощью инфракрасной съемки 224

ХАМИДОВ Л.А., ЭРГЕШОВ И.М., МАХКАМОВ С.М., ХАМИДОВ Х.Л. оценки современных смещений центральной части Ферганской долины 228

ХАМИДОВ Х.Л., АРТИКОВ Ф.Р. Развитие цифровых сейсмометрических наблюдений в зоне активного влияния водохранилищ Южного Узбекистана 233

ХУСАИНОВА Г.Я. Нагрев призабойной зоны скважины акустическими волнами 238

ХУСАИНОВА Г.Я. Очистка призабойной зоны растворителями 240

ЧЕРНОСКУТОВ А.И. Аппроксимация геофизических данных с помощью численного решения двумерных внутренних задач Дирихле и Неймана для уравнения Лапласа .. 243

ШАРЕЙКО М.А. Интерпретация годографов рефрагированных волн методом Кондратьева 247

ШВЕЦОВА М.Н. Использование геоинформационной системы ARCGIS для целей планирования геофизических работ 250

Научное издание

Восемнадцатая Уральская молодежная
научная школа по геофизике

Сборник научных материалов

Рекомендовано к изданию Ученым советом ГИ УрО РАН
Протокол № 1 от 12.01.2017

Компьютерная верстка: Бутырина С.В. Верхоланцев Ф.Г., Войтова А.С., Жигулина М.И.

ISBN 978-5-7691-2476-1

Сдано в набор 28.02.2017. Подписано в печать 1.03.2017.
Формат 60x90/8.
Тираж 100 экз. Заказ № 170140

Отпечатано в ООО «Интер-ЕС»
г. Пермь, ул. Плеханова, 39, Тел. (342) 215-01-70