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 Геофизическая служба Российской академии наук

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

Пермское отделение ЕАГО

Уральское отделение Российской академии наук

ШЕСТНАДЦАТАЯ УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ

Сборник научных материалов

УДК 550.3 ББК 26.324 Ш 5614

Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2015, 354 с.

Сборник содержит материалы, представленные на Шестнадцатой Уральской молодежной научной школе по геофизике, состоявшейся в Перми 16-20 марта 2015 г. Рассматривается широкий круг вопросов современной геофизики – от новых научнопрактических 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 природнотехногенных объектов.

> *Главный редактор* член-корреспондент РАН А.А. Маловичко (ГС РАН)

> > Ответственный редактор

к.ф.-м.н. Р.А. Дягилев (ГИ УрО РАН)

Редакционная коллегия: профессор, д.т.н. В.И. Костицын (ПГНИУ); профессор, член-корреспондент РАН В.И. Уткин (ИГФ УрО РАН)

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

Издание осуществлено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края

ISBN 978-5-7691-2421-1



© ГИ УрО РАН, 2015

УДК 550.344 СКОРОСТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОД АВАЧИНСКИМ ВУЛКАНОМ ПО ДАННЫМ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Абкадыров Ильяс Фаритович, Букатов Юрий Юрьевич, Геранин Кирилл Олегович ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский aifgf@mail.ru

Аннотация. В районе Авачинского вулкана (Камчатка) проведены геофизические работы по профилю методом микросейсмического зондирования с целью изучения современного состояния глубинного строения земной коры под вулканом. Профиль проходил через Авачинский вулкан, его общая протяженность составила около 40 км. Построен микросейсмический разрез, отражающий глубинное распределение относительных скоростей поперечных сейсмических волн до глубин более 20 км. На разрезе выделено порядка 10 скоростных неоднородностей, отождествляемых с основными структурными элементами земной коры в этом районе. Непосредственно под вулканом выделена вертикальная низкоскоростная неоднородность, которая может быть связана с зоной магматического питания вулкана.

Ключевые слова: Авачинский вулкан, микросейсмическое зондирование, микросейсмы, скоростные неоднородности

Авачинский вулкан относится к Авачинско-Корякской группе вулканов и расположен в 25-30 км к северо-востоку от г. Петропавловск-Камчатский и г. Елизово. В морфологическом плане вулкан относится к вулканам типа Сомма-Везувий. Состав лав преимущественно представлен базальтами и андезибазальтами. Вулкан является действующим, и за последнее столетие на нем произошло порядка пяти извержений (последние два – в 1991 г. и 2001 г.). Близость вулкана к крупнейшим городам полуострова Камчатка определяет высокий интерес и важность его изучения.

В геофизическом плане Авачинский вулкан считается хорошо изученным. В 80-ые годы XX века на вулкане был выполнен большой объем геофизических работ с применением различных методов: сейсморазведка [2], гравиразведка [7], электромагнитное зондирование [9]. Результаты этих работ помогли установить основные черты строения земной коры в окрестностях вулкана и выделить зоны, предположительно отождествляемые с магматическими каналами и очагами. Однако с момента последних геофизических работ на вулкане произошло два извержения, которые могли изменить пространственное расположение и объем магматических тел. С целью изучения глубинного строения под вулканом нами были проведены геофизические исследования с применением одного из методов пассивной сейсмической томографии – метода микросейсмического зондирования (MM3). Задачи исследования заключались в регистрации микросейсм по профилю, построению разреза, выделению и интерпретации скоростных неоднородностей.

Одной из главных причин выбора MM3 в качестве основного является высокая чувствительность метода к геологическим телам субвертикального залегания, которые характерны для зон современного вулканизма. Стоит отметить, что геофизические исследования с применением MM3 успешно проводятся уже в течение нескольких лет на различных вулканогенных объектах Камчатки [1, 8].

В качестве зондирующего сигнала в ММЗ выступают рэлеевские волны, которые определяют основной вклад в вертикальную компоненту микросейсмического поля Земли. Метод основывается на свойстве скоростных неоднородностей земной коры искажать спектр низкочастотного микросейсмического поля в своей окрестности [5]. Считается, что основной вклад в микросейсмическое поле вносится фундаментальными модами Рэлея. Информативным параметром является искажение амплитудного поля при взаимодействии со скоростными неоднородностями. Форма и глубина залегания неоднородности оценивается исходя из распределения искажения на поверхности и частоте, на которой это искажение проявляется. В работе [6] показано, что на поверхности Земли над высокоскоростными неоднородностями спектральные амплитуды в определенном частотном диапазоне уменьшаются, а над низкоскоростными – возрастают. Существует частота f волны Рэлея, для которой искажения от неоднородности на глубине залегания *H* максимальны. Эта частота *f* связана с глубиной залегания неоднородности H и скоростью фундаментальной моды волны Рэлея $V_R(f)$ соотношением $H \approx 0.4 \cdot V_R(f)/f$. Это соотношение используется при оценке глубины залегания неизвестной неоднородности, формирующей амплитудные искажения на частоте f. Согласно численным экспериментам [6], разрешающая способность метода по горизонтали оценивается как $(0.25-0.3)\lambda$, где λ – эффективная длина зондирующей волны. Оценка разрешения по вертикали составляет величину $(0.3-0.5)\lambda$, где λ – эффективная длина волны для средней глубины между неоднородностями. Методика проведения полевых измерений сводится к накоплению спектра мощности микросейсмического сигнала в течение некоторого времени последовательно, от точки к точке, по профилю одним или несколькими переносными сейсмическими датчиками.

Во время полевых работ было отработано два участка на профиле, проходящем через постройку Авачинского вулкана (рис. 1). На профиле была выполнена регистрация микросейсмического сигнала в 168 точках, с шагом 200 м. Общая длина профиля составила около 40 км.



Рис. 1. Схема района работ и положение профиля.

Одновременно с измерениями на профиле производилась регистрация на опорном пункте РЕТ (г. Петропавловск-Камчатский), для устранения эффекта нестационарности зондирующего микросейсмического сигнала.

Для регистрации был использован измерительно-аппаратурный комплекс из пяти портативных широкополосных цифровых сейсмометров Guralp CMG-6TD, которые обеспечивали регистрацию микросейсм по трем компонентам в частотном диапазоне f=0.033-50 Гц. Время регистрации в каждой точке составляло не менее 150 минут, что определялось необходимостью достижения статистической устойчивости спектра.

В результате был построен микросейсмический разрез по основному профилю, отражающий глубинное распределение относительных скоростей поперечных сейсмических волн (рис. 2). Во время построения разреза для привязки неоднородностей к глубине использовалась скоростная модель С.Л. Сенюкова для Авачинского вулкана [10], построенная для диапазона глубин 0-30 км и насчитывающая 6 слоев.



Рис. 2. Разрез, отражающий глубинное распределение относительных скоростей поперечных сейсмических волн вдоль микросейсмического профиля.

Разрез характеризуется сложным и неоднородным строением, как по вертикали, так и по горизонтали, что характерно для района современного вулканизма. На разрезе выделяются несколько контрастных скоростных неоднородностей (обозначены римскими цифрами на рис. 2). В юго-восточной части профиля до глубины около 1 км узкой полосой выделяется приповерхностная низкоскоростная неоднородность, очевидно связанная с четвертичными ледниковыми и вулканогенно-осадочными отложениями направленных взрывов. Ниже четвертичных отложений в диапазоне глубин 1-5 км расположена низкоскоростная неоднородность **I**, достигающая максимальной мощности около 4 км. Эта область соответствует слабо-консолидированным породам палеогеннеогенового возраста, заполняющим вулкано-тектоническую депрессию.

По краям разреза расположены две высокоскоростные области. По глубине и характеру залегания верхняя граница юго-западной аномалии **II** совпадает с известной [2, 3] кровлей кристаллического мел-палеогенового фундамента. Учитывая её мощность (до 10 км) и глубину залегания (ниже 15 км), нижнюю часть этой зоны можно отнести к подошве нижней коры. Северо-восточная аномалия **IX** является северовосточным бортом вулкано-тектонической депрессии и сложена породами верхнемелового возраста. Здесь наблюдается уменьшение толщи рыхлых отложений и неглубокое залегание поверхности верхнемеловой толщи. По данным КМПВ-ГСЗ на этом участке

профиля граница фундамента является нерезкой, на которой претерпевает разрыв только значение градиента скорости [2].

Одним из основных элементов строения земной коры в этом районе является Авачинский грабен [9], представляющий собой систему разломов, в котором в настоящее время протекают активные тектонические процессы. На микросейсмическом разрезе Авачинский грабен представлен как низкоскоростная неоднородность IV.

На разрезе присутствует несколько субвертикальных низкоскоростных зон, уходящих на большую глубину, обозначенные цифрами V, VI и VII. Наличие таких зон подтверждается и более ранними геолого-геофизическими работами. По всей видимости, они связаны с тектоническими нарушениями в этом районе и относятся к кольцевым разломам.

У подножья северо-восточного склона вулкана выделяется чашеобразная неоднородность VIII, характеризующаяся низкими значениями скорости упругих волн. Максимальная мощность этой аномальной зоны достигает 3 км. Породы в пределах верхней части этой зоны представлены четвертичными отложениями пирокластических потоков андезито-базальтового и андезитового состава. Нижняя часть, по-видимому, как и в случае с неоднородностью I, связана со слабо-консолидированными породами неогенового возраста.

Непосредственно под вулканом, до глубин 3 км – выделяется высокоскоростная эона **III**, верхняя часть которой соответствует комплексу пород вулканической постройки (Пра-Авача), нижняя – до глубин 1.5-2 км ниже уровня моря – приподнятому блоку кристаллического фундамента депрессии.

Ниже высокоскоростной аномалии III происходит увеличение значений относительной интенсивности микросейсмического сигнала, что свидетельствует об уменьшении скорости упругих волн. Здесь можно отметить субвертикальную низкоскоростную неоднородность X под центром вулкана. На разрезе эта зона имеет столбообразный вид и уходит на глубину более 20 км. Очевидно, что выделенная скоростная неоднородность на разрезе связана с зоной магматического питания вулкана. По данным более ранних работ под вулканом была выделена зона повышенного поглощения сейсмических волн, которая интерпретируется как периферический магматический очаг [2, 4]. По данным микросейсмического зондирования такой очаг, как отдельное магматическое тело, не просматривается. По-видимому, в настоящее время, он представляет собой систему трещин, магматических каналов и очагов типа штоков или даек.

Авторы выражают благодарность Горбатикову А.В. и Степановой М.Ю. за помощь в обработке материала и построении разреза.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (№12-Ш-А-08-176) и РФФИ (№ 12-05-31357 мол_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абкадыров И.Ф., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Букатов Ю.Ю. Особенности строения верхней части земной коры в районе Нижне-Кошелевской термоаномалии (южная Камчатка) по данным микросейсмического зондирования. Труды второй региональной научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». – Петропавловск-Камчатский, 2010. – С. 13-15.

2. Балеста С.Т., Гонтовая Л.И., Каргапольцев А.А., Пушкарев В.Г., Сенюков С.Л. Сейсмическая модель Авачинского вулкана (по данным КМПВ-ГСЗ) // Вулканология и сейсмология. – 1988. – №2. – С. 43-55.

3. Гонтовая Л.И., Ефимова Е.А., Костюкевич С.А., Пийп В.Б. Сейсмический разрез вулкана Авачинский по данным КМПВ-ГСЗ // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1990. – № 3. – С. 73-81.

4. Гонтовая Л.И., Ризниченко О.Ю., Нуждина И.Н., Федорченко И.А. Авачинская группавулканов: глубинное строение и особенности сейсмичности // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога. – Петропавловск-Камчатский, 2010. – С. 50-58.

5. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. – 2008. – № 7. – С. 66-84.

6. Горбатиков А.В. Цуканов А.А. Моделирование вол Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Использование возможностей метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. – 2011. – № 4. – С. 96-112.

7. Зубин М.И., Козырев А.И. Гравитационная модель строения Авачинского вулкана (Камчатка) //Вулканология и сейсмология. – 1989. – № 1. – С. 81-94.

8. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатиков А.В, Степанова М.Ю., Абкадыров И.Ф. Новые данные о глубинном строении Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения // Доклады академии наук. – Т. 441. – № 4. – Москва: МАИК "Наука", 2011. – С. 539-543.

9. Мороз Ю.Ф. Гонтовая Л.И. Глубинное строение Авачинско-Корякской группы вулканов на Камчатке // Вулканология и сейсмология. – 2003. – №4. – С. 3-10.

10. Сенюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдения в 2000-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2006. – №3. – С. 1-11.

VELOCITY INHOMOGENEITIES BENEATH AVACHA VOLCANO BASED ON DATA FROM MICROSEISMIC SOUNDING

Abkadyrov Ilyas, Bukatov Yury, Geranin Kirill IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky aifgf@mail.ru

Summary. The authors conducted geophysical profiling using the microseismic sounding within the Avacha Volvano zone, Kamchatka, in order to study the modern state of the Earth's crust deep structure beneath the volcano. The profile went across Avacha Volcano; it was about 40 km long. The microseismic cross section, which showed the deep distribution of the relative velocity of the S waves at the depths of more than 20 km. More than 10 velocity heterogeneities were revealed on the cross section, which are related to the main structural elements of the Earth's crust in this zone. Just beneath the volcano we revealed a vertical low-velocity inhomogeneity, which is related to the zone of the volcano feeding system.

Key words: Avachinskiy Volcano, microseismic sounding, microseisms, velocity heterogeneities

УДК 530348098.64 (470.6) КОЛЬЦЕВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ КАК УКАЗАТЕЛЬ НА ВИХРЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Адилов Зарахман Ашуралиевич, Ашурбеков Заур Идрисович ДФ ГС РАН, г. Махачкала adilov79@mail.ru

Аннотация. Рассматривается кольцевая сейсмическая зона территории Дагестана и прилегающих районов и выявляется, что одним из генераторов этой сейсмической активности является динамика геоблока, оконтуренного этим кольцом сейсмической активности.

Ключевые слова: вихревое явление, спиралевидная структура, собственный момент, иерархическая фрактальная структура, геоблок, кольцевая сейсмичность

Вихревые явления и вихревые структурные образования, как результат этих вихревых явлений, в природе наблюдаются повсеместно. Вихревым строением характеризуются природные структурные образования, начиная от элементарных частиц в неживой природе (к примеру, спин элементарной частицы) и клеток в живой природе (хромосомы) до турбулентных потоков межпланетной и межзвездной плазм и галактик.

Впервые в геологии на вихревые структуры в геологических разрезах Китая в 1928 г. указал Ли Сыгуана [3].

А в 1933 г. в результате проведения повторных геодезических работ японскими исследователями впервые формулируется вывод о вращательном движении блока земной коры, в котором располагался очаг землетрясения Канто 01.09.1923, M = 8,2. Величина горизонтальных перемещений при таком движении составляла 2 м и более.

В 1961 г. А.В. Пейве [4] обосновал блоковое строение земной коры и указал на наличие собственного источника движения блоков, а также выявил наличие связи тектонических движений с законами движений космических тел.

В 1979 г. М.А. Садовский [5] подтвердил обоснование А.В. Пейве о «кусковатости» то есть блочности характера геофизической среды.

В 1972 г. в своей работе О.И. Слензак [6] развил представления Ли Сыгуана и указал на то, что «перекрытие вихревых систем» приводит к «образованию систем меньшего размера, соединяя в новые вихри отрезки больших дуг крупных систем», и «иерархическая соподчиненность тектонических структур связывает в неразрывную цепь ... самостоятельные тектонические формы и геологические тела складчатых областей и их обрамления». Таким образом, О.И. Слензак выявил систему вихревых структур, связанных в единую иерархическую тектоническую планетарную структуру.

В наших работах [1] мы рассматривали вопросы иерархичности и фрактальности сейсмического процесса как следствия иерархичности и самоподобия геологической среды. Интересно, что фрактальные множества Жюлиа и Мандельброта тоже состоят из иерархической последовательности вихревых структур.

Территория Дагестана и прилегающих районов характеризуется кольцевой сейсмичностью, как это показано на рис. 1, где сейсмоактивное кольцо выделено двумя окружностями. На рисунке представлены землетрясения энергетического класса $K_p \ge 10$ 1970-2014 гг.



Рис. 1. Кольцевая сейсмичность территории Дагестана и прилегающих территорий

Область, заключенная внутри окружности малого радиуса, характеризуется намного меньшей сейсмичностью, по сравнению с кольцевой сейсмической активностью. Кольцевой характер сейсмичности в статике является указателем на вихревой характер сейсмичности в динамике. На рис. 2 пунктирной линией выделяется геоблок, оконтуренный кольцом сейсмической активности. При исследовании миграции землетрясений мы использовали различные выборки из каталога землетрясений. Выборки в хронологической последовательности землетрясений, начало которых было произвольно, но шаг был выбран так, что пропускались каждые два землетрясения, следующие за выбранным в каталоге, выявили миграцию землетрясений каждой выборки против часовой стрелки, то есть против угловой скорости вращения геоблока. Сам геоблок проворачивается по часовой стрелке, что видно по изломам Главного Кавказского хребта в районах, указанных стрелками «А» и «В», а также по изгибам русел рек, огибающих выделяемый геоблок, указанных стрелками «С», «D», «Е». Образование Аграханского полуострова с образованием Аграханского залива может быть объяснено вращением выделяемого геоблока. Причем ось вращения имеет наклонный в сторону моря относительно вертикали характер, что выявляется большей глубиной землетрясений в акватории Каспийского моря.

При исследованиях вопросов, связанных с земной корой, необходимо, помимо сил земного тяготения, учитывать также влияние сил, возникающих в результате сложного движения Земли: вращается вокруг своей прецессирующей оси и движется по ор-

бите вокруг Солнца. То есть, одним из факторов, ответственных за формирование структуры литосферы Земли, является сложное движения планеты. Еще В.И. Вернадский предполагал, что образование спиралевидных структур у живых организмов связано с вращением Земли вокруг своей оси [2].



Рис. 2. Геоблок, оконтуренный кольцевой сейсмичностью

Как известно, на тело, движущееся прямолинейно и равномерно со скоростью \vec{v} по отношению к системе отсчета, вращающейся с угловой скоростью $\vec{\omega}$, действует Кориолисова сила. Ускорение тела при этом равняется $2v\omega \sin a$, где a – угол между осью вращения и направлением прямолинейного движения. Если смотреть со стороны северного полюса, земля вращается против часовой стрелки, следовательно, в северном полушарии тело отклоняется вправо по ходу движения. Выделяемый геоблок простирается от 41° до 43,5° северной широты и имеет радиус около 140 км. Кориолисово ускорение на широте 43,5° в 1,05 раз больше чем на широте 41°, таким образом, геоблок характеризуется полем спадающих с севера на юг Кориолисовых ускорений. Направление вращения по часовой стрелке и повышенная сейсмичность в северном и северозападном направлениях указывает на прямолинейное движение геоблока в промежуточном между северным и северо-западным направлении. На наш взгляд, следствием одновременного прямолинейного движения и проворачивания вокруг наклонной оси и является повышенная сейсмичность сейсмоактивного кольца в северном и северо-

западном направлениях, в то время как в южном и юго-восточном направлениях сейсмичность относительно слабее. Как указал О.И. Слензак, перекрытие вихревых систем приводит к образованию систем меньшего размера, соединяя в новые вихри отрезки больших дуг крупных систем. Возможно, выделяемый геоблок является областью перекрытия больших вихревых систем, а очаговые зоны выделяемого сейсмоактивного кольца являются вихревыми системами меньшего ранга, образованными в результате перекрытия искомого геоблока с другими геоблоками такого же ранга. А это является предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адилов З.А., Асманов О.А., Даниялов М.Г. Анализ некоторых параметров сейсмического режима Дагестана // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинске: ГС РАН, 2012. – С. 3-7.

2. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1965. – 374 с.

3. Ли Сыгуан Вихревые структуры Северо-Западного Китая. – М.–Л.: Госгеолтехиздат, 1958. – 130 с.

4. Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Серия геологическая. – 1961. – № 3. – С. 36-54.

5. Садовский М.А. О моделях геофизической среды и сейсмического процесса // Горный журнал. – 1984. – № 7. – С. 268-272.

6. Слензак О.И. Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. – Киев: Наукова думка, 1972. – 182 с.

RING SEISMICITY AS A POINTER TO THE VORTEX PHENOMENA IN GEOPHYSICAL ENVIRONMENT

Adilov Zarachman Ashyralyevich, Ashurbekov Zaur Idrizovich DF GS RAN, Makhachkala adilov79@mail.ru

Summary. Considered the annular seismic zone the territory of Dagestan and surrounding areas and revealed that one of the generators of this seismic activity is the dynamics geological block, contoured annular seismic activity. **Key words**: vortex phenomenon, spiral structure, private moment, a hierarchical fractal structure, block, annular seismicity.

УДК 550.34 SEISMIC OBSERVATION NETWORK AND DATA MONITORING IN NSSP RMMES, ARMENIA

H. Hayrapetyan, L. Sargsyan, A. Ghonyan, K. Khachkalyan Armenian National Survey for Seismic Protection h_hayk84@yahoo.com

Summary. Armenia is located in one of the world's most active seismic zone, Armenia frequently experiences earthquakes. Seismic observation and seismic

hazard assessment in Armenia are concentrated in National Survey for Seismic Protection (NSSP) of the RMMES Republic of Armenia. It is a Governmental organization established in 1991, after the catastrophic earthquake of December 7, 1988 with the aim of drastically improves seismic observation system and seismic risk reduction to protect the people against earthquakes.

The aim of this paper is to show the present state of the seismic observation including seismic network and seismic data monitoring in Armenia. The existing seismic networks, including the description of equipment used, data flow and monitoring. For the monitoring of earthquakes NSSP operates an earthquake observation network comprised of about 32 seismographs: from recently upgraded new 6 Guralp 6TD broad band stations, IRIS GNI station, VAYK mini-array with 5 short period and 1 broadband station (CEA-DASE).

The data are received in the Data Center on a near real-time basis from whole stations homogeneously distributed in Armenia. When an earthquake occurs, NSSP immediately (for local earthquakes during 7 minutes) issues information on its hypocenter, magnitude and observed seismic intensity. The information is provided to Crisis Management Centre and disaster prevention authorities and reaches the public through local governments and the media. The data are archived at the Seismology Department and stored in database system: as waveforms, seismological bulletins and catalogues for research work and other activities.

NSSP also provides data to international organizations such as EMSC, ISC est. as near real time information about earthquake and also seismological bulletins.

Key words: Armenian NSSP, seismic observation, seismic network

1. Instrumental Observations Chronology

The first seismic station in the territory of Armenia was installed at the end of 1931 and operated in 1932. The "Uniform System of Seismological Observations of the Soviet Union (USSO USSR)" organized in 1966 greatly modernized seismological observations by introducing application of observations of unified methods for processing of seismological information.

Until 1979 distribution of seismic stations in the territory of the Caucasus was very uneven. During that time there were functioning already 47 stations. Eight of them in the territory of Armenian SSR. During the period of 1979-1988 nine seismic stations were launched in the territory of Armenian that allowed significantly reducing the minimum energy class of earthquake recording and obtaining instrumental seismic data uniform in terms of representativeness of earthquakes throughout the territory of the Caucasus.

Armenian network was established in late 1960's. After the devastating Spitak earthquake a"National Survey for Seismic Protection of the Republic of Armenia", coordinating all activities related to seismic protection was established. With the purpose of increasing the level and accuracy of seismological observations local networks of telemetry seismic stations were established in the territory of Armenia with the centers of: "Gyumry", "Vanadzor", "Yerevan", "Kapan" (fig.1).

These networks are equiped with short period three component sensors that cover a frequency band from 0.5 to 25 Hz. All four networks have their own acquisition and processing centers which are connected to the main processing center in NSSP (Yerevan). It was the first step to make early warning system around the capital of Yerevan. Recently in frame of corporation with IAEA there were installed 6 new Guralp 6TD broad band stations around Yerevan and ANPP (fig. 1). These networks were established to find out quickly precise local

earthquake locations and to conduct investigation of weak seismicity in the territory of Armenia. Due to these networks the lower representation magnitude level in the National earthquake catalogue was reduced down to M 2.5 during recent years.



Fig. 1. Seismic Network in NSSP

2. International Cooperation

The National Survey for Seismic Protection (NSSP) is in charge of the seismic protection and seismic monitoring system. NSSP has the following international and local monitoring systems:

- USGS-IRIS Project
- CTBT International Monitoring System (Comprehensive nuclear Test-Ban Treaty)
- CEA/DASE VAYK seismic array
- Local Seismic Network
- Observation Network

The IRIS GNI station was installed in 1991 in the geophysical observatory Garni. It is broad-band seismic station equipped with STS-2 VBB seismometers. This station included in the IRIS Global Seismographic Network (GSN) and providing seismographic data to research earthquake hazard mitigation and the verification of a Comprehensive Test Ban Treaty (CTBT).

The Vayk array was installed in cooperation with CEA/DASE. In 2010 the construction of the VAYK seismic array was finished and its operation have began. The first seismic data were received from the array in January 2010. Seismic array consists of 6 observation points, located in two concentric circles with one central site (see the figure 2). Five onecomponent short-period seismometers are installed. Besides, there is a broadband threecomponent station with STS2 seismometer.



Fig. 2. Vayk mini array

3. Earthquake Early Warning and Notification Systems

The data are received to the Data Center on a near real-time basis from whole stations homogeneously distributed in Armenia. Recorded data are transferred to Data Acquisition and Analysis Center through various means of communication including satellite, Internet, mobile and stationary phone, electronic etc.

When an earthquake occurs, NSSP immediately (for local earthquakes during 7 minutes) issues information on its hypocenter, magnitude and observed seismic intensity. The information is provided to disaster prevention authorities and reaches the public through local governments and the media. NSSP also provides data to international organizations such as ESMC, ISC est. as near real time information about earthquake and seismological bulletins.

Current seismic hazard assessment and early non-urgent warning (preparation phase)

Earthquake operatives prediction and Government notification emerged from expert evaluation

Urgent warning (earthquake hit urban area and rapid information is essential)

Conclusion

It is obvious that Armenia is located in a zone with high seismicity and it is evident that the seismic risk assessment is essential for Armenia.

At present the seismic risk has reached its maximum value for the whole historical time of state existence. It is stipulated by new cycle of seismic activity and low seismic resistance of buildings and structures, continuing urbanization, lack of proper care of important technical structures (Nuclear Power Plants, Hydro-Power Plants, Chemical Plants, Reservoirs, Lifelines and Health Facilities), poor preparedness of population and state management bodies, and unfavorable economic situation due to transition to another social and economical formation.

Main objectives:

- Restoration and development of seismic network in Armenia as the country with high seismic hazard and risk;

- Data exchange network development aiming at reducing the consequences of earthquakes and current seismic hazard assessment;

- Rapid and precise definition of earthquake parameters, technological explosions monitoring, nuclear explosions monitoring, promoting the modern technologies in research; - To set the cooperation between the scientists of the country and the region, management bodies as well as the decision-makers in emergency;

REFERENCES

1. Balassanian S.Y., (1997). Seismogenesis and destructive earthquakes in the Caucasus; Historical and Prehistorical Earthquakes in Caucasus. Kluwer Academic Publishers. Series 2: Enviroment, vol.28, p. 1-37

2. Sargsyan H., Sargsyan L., Mkhitaryan K., Gevorgyan L., (2008). The seismicity of Armenian Upland after Spitak 1988 Destructive Earthquake. Seismicity of Northern Eurasia, Materials of International Conference, Obninsk, pp.269-276

3. The new catalogue of strong earthquakes in the territory of the USSR, (1972). Shebalin (ed.) Nauka, Moscow.

УДК 550.8.04

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПУНКТАХ МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННОГО РАДОНА НА ПЕТРОПАВЛОВСК–КАМЧАТСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Акбашев Ринат Рафикович¹, Макаров Евгений Олегович¹, Паровик Роман Иванович²

¹КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский ice@emsd.ru, arr@emsd.ru ²ИКИР ДВО РАН, пос. Паратунка romano84@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты сейсморазведочных и георадарных работ для оценки физико-литологических свойств грунтов верхней части геологического разреза на некоторых пунктах сети мониторинга концентрации почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне. В настоящее время 4 из 6 пунктов сети оснащены цифровыми автоматизированными комплексами регистрации концентрации почвенных газов и метеорологических величин на базе регистраторов ALMEMO фирмы Ahlborn. По оснащенности приборной базы и длительности непрерывных рядов данный вид наблюдений не имеет аналогов в Российской Федерации. Как правило, амплитуда предвестниковых аномалий в поле почвенного Rn превышают фон не более чем на 20%. Поэтому выделить их на фоне помех, обусловленных вариациями метеорологических величин, достаточно сложно.

Ключевые слова: миграция радона, молекулярный водород, землетрясение, предвестник, прогноз, Камчатка

Введение

Процессы дегазации Земли неравномерно протекают как в пространстве, так и во времени, и в значительной степени контролируются распределением и величиной напряжений в разломах земной коры различной иерархии. Миграция газов в верхней толще земной коры определяется диффузионными и фильтрационными свойствами горных пород, которые зависят от их проницаемости, пористости и трещиноватости. В то же время на фильтрационные свойства геосреды и выделение радиоактивных газов из пород оказывают влияние вариации поля напряжений [17]. Поэтому изменения напряженно-деформированного состояния геосреды должны находить отражение в динамике почвенного газа на дневной поверхности [3, 9].

Наиболее технологичным методом в геохимических исследованиях с целью прогноза землетрясений является регистрация радона (²²²Rn) в почвенном воздухе. Перспективность сейсмоэманационного метода с целью мониторинга геодинамических процессов, в частности прогноза землетрясений и горных ударов, показана во многих работах [1, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 18, 20].

Сейсмичность зоны субдукции района полуострова Камчатка определяется взаимодействием Евроазиатской и Тихоокеанской плит, когда эпицентры наиболее сильных землетрясений располагаются на дне Тихого океана и значительном расстоянии от пунктов регистрации. Как следует из работ [5, 14], перед 60% землетрясений с M>5.5 с эпицентрами в зоне субдукции района Авачинского залива, в поле почвенного Rn наблюдались бухтообразные предвестники со временем упреждения 1-8 суток.

Краткие сведения об аппаратуре и методике наблюдений

На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне с целью поиска предвестников сильных землетрясений, начиная с 1998 г., непрерывно работает сеть пунктов регистрации Rn в почвенном воздухе рыхлых отложений [12]. В качестве датчиков на всех пунктах используются газоразрядные счетчики типа CEM-19, позволяющие вести пассивную регистрацию ²²²Rn по β -излучению продуктов его распада [9]. Как правило, в пунктах газоразрядные счетчики располагаются в зоне аэрации в заборных емкостях (ведро – 10 л) на глубинах один и два метра. В настоящее время четыре из шести пунктов мониторинга почвенных газов оснащены автоматизированными комплексами регистрации концентрации почвенных газов (РКПГ), созданными на базе серийных устройств ALMEMO и дополнительных устройств, разработанных в Камчатском филиале Геофизической службы РАН. РКПГ позволяет регистрировать одновременно количество импульсов со счетчиков и другие параметры (концентрация H₂, CO₂ и метеорологические величины) [6].

Пункты сети радонового мониторинга расположены в разных структурных элементах побережья Авачинского залива, что дает основание предполагать различный отклик в динамике Rn в зависимости от местоположения очагов землетрясений. Кроме того, каждый пункт имеет свои особенности строения элювиально-делювиальных отложений, в зоне аэрации которых, как правило, размещены газоразрядные датчики β излучения Rn и его дочерних короткоживущих продуктов распада.

Согласно классическому представлению, сложившемуся в теории эманационного метода [7, 9], а также современным представлениям о большой роли миграции почвенных газов за счет всплытия микропузырей (теория «геогаза») в зоне полного влагонасыщения [4, 19, 21] на процесс миграции Rn в рыхлых отложениях, основное влияние оказывает проницаемость, зависящая от свойств и строения грунта, а также наличие водоносного горизонта и изменение напряженно-деформированного состояния блока геосреды в районе пункта регистрации. Поэтому для лучшего понимания особенностей возникновения аномалий в поле почвенных газов перед землетрясениями района Авачинского залива необходимо знать строение верхней части геологического разреза в пунктах регистрации.

Для исследования строения верхней части геологического разреза в районах пунктов радонового мониторинга использовались: цифровая инженерная сейсморазведочная станция «Лакколит X-M3» и георадар «Око-2» в модификации АБДЛ «Тритон» с частотой дипольных излучателей 50 и 100 МГц.

Сейсморазведочные работы проводились в модификации сейсмозондирования методом преломленных волн (МПВ) по системе точечного зондирования с получением пар встречных и расходящихся годографов. Скоростные разрезы строились с помощью

прикладного пакета программ «RadExPro» по общепринятой методике, способом пластовых скоростей.

Георадар – мобильный и компактный современный геофизический прибор, позволяющий проводить обследование поверхностного слоя грунта с высокой детальностью до 25 м. Интерпретация материалов радарной съемки проводилась в программном комплексе «GeoScan32».



Рис. 1. Схема размещения датчиков для наблюдений за концентрацией почвенных газов в опорном пункте ПРТ (а), расположение профилей при проведении разведочных работ на пункте ПРТ (б): 1-датчик давления; 2-датчик температуры; 3-датчик β-излучения; 4-датчик γ-излучения; 5-датчик H₂; 6-датчик CO₂; 7-георадиолокационный профиль, направление движения по профилю; 8-участки разуплотненных зон; 9-точки радонового мониторинга пункта ПРТ; 10-сейсмический профиль (СП); ППР/РЕВАР – регистрация двумя детекторами плотности потока радона с поверхности с помощью регистратора вариаций радона. ВМ-2 – двухканальный формирователь импульсов для регистрации β-излучения прибором ALMEMO [6]

Строение верхней части геологического разреза в пунктах радонового мониторинга

В трех наиболее оснащенных пунктах радонового мониторинга (ПРТ, ПРТ1, КРМ) в 2013-2014 гг. были выполнены сейсморазведочные и георадарные работы для оценки физико-литологических свойств грунтов верхней части геологического разреза с целью выяснения особенностей миграции Rn к дневной поверхности [15].

В районе опорного пункта радонового мониторинга ПРТ было выполнено два сейсмических профиля (СП) и георадиолокационный профиль (ГП) длиной 270 м (рис. 1*a*, δ). В ста метрах от расположения пункта ПРТ вверх по ручью был выполнен СП1 поперёк долины ручья Коркина с выходом на левый склон, а СП2 начинался на правом берегу ручья Коркина, в долинной его части. Сейсмические разрезы, полученные на этих профилях, приведены на рис. 2*a*, δ , а скорости сейсмических волн и мощности слоев – в табл. 1, где также приведены расчетные значения физических свойств грунтов.

На СП1 по скоростным границам выделяются два слоя (рис. 2): 1) почвеннопирокластический чехол мощностью h=(1.8-2.7) м, с диапазонами скоростей поперечных волн V_s=(127-207) м/с и продольных волн V_p=(228-366) м/с; 2) песчано-глинистые отложения аллювиального происхождения h=(1.6-9.5) м, с V_s=(372-446) м/с и V_p=(624-694) м/с. Подложкой для второго слоя является крупнообломочный материал с песчаным заполнителем аллювиально-флювиогляциального происхождения fQII-III, с V_s=(464-505) м/с и V_p=(1157-1441) м/с.

Георадиолокационный профиль длиной 270 м был пройден поперек долины ручья Коркина с выходом на левую и правую террасы. На георадиолокационном разрезе (рис. 2*в*) хорошо выделяются три участка с резким понижением границы и бетонный мост над ручьем Коркино. Второй и третий участки совпадают с участками разуплотненных зон, выявленных по результатам сейсмозондирования.



Рис. 2. Скоростные разрезы S и P- волн в районе пункта ПРТ, а – СП1, б – СП2. в – георадиолокационный профиль в пункте ПРТ. Квадратами выделены предполагаемые зоны дизъюнктивных нарушений

Таблица 1

по сейсмическому профилю № 1 в пункте ПРТ							
СП/ПП, м	мощность слоя, м	V _p , м/с	V _s , м/с	V_s/V_p	W, %	<i>ρ</i> , г/см ³	η, %
1/0	2.7	350	201	0.57	26.98	1.71	53.11
	4.1	694	446	0.64	16.14	1.93	50.50
	3.2	1393	505	0.36	УГВ	2.15	39.89
6/10	2.8	323	169	0.52	27.83	1.68	53.24
	3.7	684	406	0.59	16.45	1.92	50.60
	3.5	1419	507	0.36	УГВ	2.16	39.36
12/22	1.8	228	127	0.56	30.82	1.61	53.62
	4.5	648	372	0.57	17.59	1.89	50.95
	3.7	1441	477	0.33	УГВ	2.16	38.90
18/34	2.2	314	207	0.66	28.11	1.69	53.28
	6.3	624	379	0.61	18.34	1.89	51.17
	1.5	1157	464	0.40	УГВ	2.08	44.27
24/46	2.3	366	281	0.77	26.47	1.74	53.03
	1.6	625	393	0.63	18.31	1.89	51.16
	6.1	1201	482	0.40	УГВ	2.10	43.51

Расчетные значения физико-литологических параметров грунтов по сейсмическому профилю № 1 в пункте ПРТ

Примечание: V_P , V_S – скорость продольных и поперечных волн; W – влажность; ρ – плотность; η – пористость.

По данным сейсморазведки на основе работы [2] рассчитывались основные физико-литологические параметры грунтов: влажность (W, %), плотность (ρ , г/см³), пористость (η , %). Рассчитанная влажность по данным сейсморазведки соответствует уровню грунтовых вод (УГВ) в октябре месяце, когда проводились работы, глубине ~6 м (табл. 1). В пунктах ПРТ1 и КРМ геологическое строение верхней толщи оказалось близким к рассмотренному выше.

Пункт ПРТ находится в зоне динамического влияния разлома (ЗДВР), границы которой хорошо видны на георадиолокационном профиле в виде трех участков разуплотнения (рис. 2*в*). Согласно работам [9, 13] ЗДВР может рассматриваться как флюидонасыщенный коллектор, являющийся местом разгрузки подземных водоносных горизонтов. Участки разуплотнения имеют большую проницаемость и пористость по сравнению с расположенными рядом блоками геосреды, что иллюстрируется пониженными скоростями Р и S-волн в районе второго участка, где расположены датчики всех точек пункта ПРТ (рис. 2a, δ).

В первых двух слоях рыхлых отложений со средней мощностью 2,3 и 4,5 м миграция Rn осуществляется за счет адвекции и диффузии. Для них применима классическая модель миграции за счет диффузии (D) и адвективного вертикального потока (скорость v). Причем v определяется физико-литологическими свойствами грунтов: плотностью (ρ), пористостью (η), влажностью (W), газовой проницаемостью (k), температуропроводностью (χ). В нашем случае почвенно-пирокластический чехол можно рассматривать только как зону транзита без выделения Rn, т.к. удельная активность ²²⁶Ra, измеренная с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра, в этом слое ничтожно мала ($A_{226Ra} \approx 10$ Бк/кг).

Согласно представлениям о миграции Rn в грунте с полным влагонасыщением, поток газов в форме микропузырьков является основным механизмом транспортирования Rn к дневной поверхности [4, 19, 21]. При этом механизм миграции эндогенных газов определяется взаимодействием воды в порах и трещинах с породой. Согласно современным исследованиям на глубинах в несколько тысяч метров пузырьки имеют диаметр 10-2-10-1 мм. При этом предполагается, что газы-транспортеры (H2, CO2 и CH4), находящиеся в нескольких состояниях (течение в газовой фазе, вытеснение воды газом, газовые пробки и пузыри), обеспечивают основной процесс миграции более тяжелых инертных газов (He, Rn).

Исходными параметрами горного массива являются: минералогический состав пород, степень их водонасыщения и минерализация жидкой фазы, состав геогаза, распределение концентраций q_{Ra} , объем и геометрия порового пространства, температура, поровое давление. К их производным относятся коэффициенты: диффузии (D); эманирования ($K_{\Im M}$); термодиффузии (K_TD) и бародиффузии (K_PD), определяющие скорость конвективного массопереноса, сорбционное равновесие, а также скорость геогаза. Основные и производные параметры под действием различных природных факторов в реальном времени подвержены вариациям. Формирование суммарного потока Rn – сложный многофакторный процесс, при котором флюктуации параметров при одновременном действии природных факторов в различных геолого-тектонических и гидрологических условиях могут вызвать как увеличение суммарного потока относительно среднего уровня, так и уменьшение. В целом, поток всегда остается восходящим по отношению к земной поверхности.

Используя представления о строении верхней толщи в районе ПРТ по данным сейсморазведочных работ и подход к миграции Rn как потоку геогаза, в дальнейшем планируется провести математическое моделирование и сопоставить модельные расчеты с экспериментальными данными. Определенная часть модельных расчетов выпол-

нена в работах [8; 16] и опробована на данных радонового мониторинга на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне.

Заключение

На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне с целью поиска предвестников сильных землетрясений, начиная с 1998 г., работает сеть пунктов регистрации Rn в почвенном воздухе рыхлых отложений [12]. Основной вид регистрации – концентрация почвенного Rn, но в опорных пунктах также регистрируются концентрации молекулярного водорода и углекислого газа. Регистрация Rn ведется на двух глубинах (1 и 2 м) зоны аэрации, что позволяет рассчитывать плотность потока Rn, которая более чувствительна к изменениям напряженно-деформированного состояния геосреды.

В настоящее время 4 из 6 пунктов оснащены цифровыми автоматизированными комплексами регистрации концентрации почвенных газов и метеорологических величин на базе регистраторов ALMEMO фирмы Ahlborn [6]. По оснащенности приборной базы и длительности непрерывных рядов данный вид наблюдений не имеет аналогов в РФ и может конкурировать с зарубежными системами наблюдений за динамикой почвенных газов в сейсмоактивных регионах мира.

В трех наиболее оснащенных пунктах радонового мониторинга в 2013-2014 гг. были выполнены сейсморазведочные и георадарные работы для оценки физиколитологических свойств грунтов верхней части геологического разреза с целью выяснения особенностей миграции Rn к дневной поверхности. Полученные результаты в дальнейшем планируется использовать при построении и развитии математических моделей миграции Rn.

Как показал многолетний опыт, в большинстве случаев амплитуда предвестниковых аномалий в поле почвенного Rn на сети пунктов Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона составляет не более 20% от фона. Поэтому выделить их по данным одного пункта наблюдений проблематично, так как они маскируются высоким фоном помех, вызванных вариациями метеорологических величин (атмосферное давление, температура воздуха, влажность почвы). Только площадная расстановка приборов позволила обнаружить «геодеформационные волны» перед землетрясениями района Авачинского залива с M>5.5, возникающими на последней стадии их подготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдуалиев А.К., Войтов Г.И., Рудаков В.П. Радоновый предвестник некоторых сильных землетрясений Средней Азии // ДАН СССР. – 1986. – Т. 291. – № 4. – С. 924-927.

2. Аникин О.П., Горшенин Ю.В. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами. – М.: НИИ тран-го ст-ва, 1985. – 37 с.

3. Войтов Г.И. К проблеме водородного дыхания Земли // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 24–30.

4. Иванова Т.М. Моделирование переноса радона в горном массиве. Автореф. дисс. канд. тех. наук. – М., 1999. – 25 с.

5. Макаров Е.О. Предвестниковые аномалии сильных землетрясений Авачинского залива с М>5.5 в поле почвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам Междунар. конф. студ., асп. и молодых ученых.) Пермь. 20-24 апреля 2011 г. / Отв. ред. Е.Н. Батурин. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 2011. – С. 347-349. 6. Макаров Е.О., Фирстов П.П., Волошин В.Н. Аппаратурный комплекс для регистрации концентрации подпочвенных газов с целью поиска предвестниковых аномалий сильных землетрясений Южной Камчатки // Сейсмические приборы. – 2012. Т. 48. – № 1. – С. 5-14.

7. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. – Ленинград: Наука, 1989. – 407 с.

8. Паровик Р.И., Фирстов П.П. Апробация новой методики расчета плотности потока радона с поверхности (на примере Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона) // АНРИ. – 2008. – № 3. – С. 52-57.

9. Рудаков В.П. Динамика полей подпочвенного радона сейсмоактивных регионов СНГ. Автореф. дисс. докт. физ.-мат. наук. – М., 1992. – 37 с.

10. Спивак, А.А., Сухоруков М.В., Харламов В.А. Особенности эманации радона ²²²Rn с глубиной // ДАН. – 2008. – Т. 420. – № 6. – С. 825–828.

11. Уткин В.И., Юрков А.К. Радон и проблема тектонических землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1997. – № 4. – С. 82-94.

12. Фирстов П.П. Изменение объемной активности радона в подпочвенном газе перед Кроноцким землетрясением // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. – Петропавловск-Камчатский: ИКГА, 1998. – С. 170-176.

13. Фирстов П.П., Рудаков В.П. Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997-2000 гг. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. – 2003. – № 1. – С. 26-41.

14. Фирстов П.П., Макаров О.Е., Малышева О.П. Отражение в динамике почвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне последней стадии подготовки землетрясений с магнитудой больше 5.5 района Авачинского залива // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9-15 октября 2011 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 154-158.

15. Фирстов П.П., Акбашев Р.Р., Макаров Е.О., Паровик Р.И. Строение верхней части геологических разрезов в пунктах мониторинга почвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога "Вулканизм и связанные с ним процессы". – Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2014. – С. 242–250.

16. Яковлева В.С., Паровик Р.И. Численное решение уравнения диффузии-адвекции радона в многослойных геологических средах // Вестник КРАУНЦ. Физ. мат. науки. – 2011. – № 1 (2). – С. 44-54.

17. Dubinchuk V.T. Radon as a precursor of earthquakes // Isotopic geochemical precursors of earthquakes and volcanic eruption. – Vienna, 1991. – P. 6-22.

18. Firstov P.P., Yakovleva V.S., Shirokov V.A. at al. The nexus of soil radon and hydrogen dynamics and seismicity of the northern flank of the Kuril-Kamchatka subduction zone // Annals of Geophysics. $-2007. - V. 50. - N_{\odot} 4. - P. 546-557.$

19. Etiope G.' Martinelli G. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview // Physics of The Earth and Planetary Interiors. – 2002. – V. 129. – P. 185-204.

20. Steinitz G., Begin Z.B., Gazit-Yaari N. A statistically significant relation between radon flux and weak earthquakes in the Dead Sea Rift Valley // Geology. -2003. -V.31. -P. 505-508.

21. Varhegyi A., Baranyi I., Somogyi G. A model for the vertical subsurface radon transport in «geogas» microbubbles // Geophys. Transactions. – 1986. – V. 32. – № 3. – P. 235-253.

STUDYING THE STRUCTURE OF TOP OF THE FRIABLE DEPOSITS IN SOIL RADON MONITORING POINTS ON PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY GEODYNAMICAL TEST SITE

Rinat Akbashev¹, Evgeniy Makarov¹, Roman Parovik²

¹Kamchatkan Branch of Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky ice@emsd.ru, arr@emsd.ru ²Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the Far Eastern Branch of RAS, Paratunka romano84@mail.ru

Abstract. The results of seismic exploration and georadar works for assessing physical and lithological properties of soil upper part of the geological section at some points of the monitoring network soil gas concentrations at Petropav-lovsk-Kamchatsky geodynamical test site are given in this article. At present 4 of 6 points are equipped with digital automated complexes registration of soil gases concentrations and meteorological variables on the basis of recorders ALMEMO Ahlborn Company. By equipment instruments and duration of continuous series, this type of observation has no analogues in the Russian Federation. Typically, the amplitude of precursory anomalies in the field of soil Rn does not exceed by more than 20% of background. Is therefore highlight them on the background noise caused variations in meteorological variables is difficult.

Keywords: radon migration, molecular hydrogen, earthquakes, precursor, forecast, Kamchatka

УДК 550.361 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ АККУМУЛЯЦИИ ЗЕМЛИ В 3D МОДЕЛИ С УЧЁТОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ И СЛУЧАЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАДАЮЩИХ ТЕЛ

Антипин Александр Николаевич

ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург anantipin@rambler.ru

Аннотация. На основе модели аккумуляции планет земной группы, предложенной в работе [1], получено решение задачи теплопереноса, с учётом адиабатического сжатия и случайного распределения неоднородностей при аккумуляции Земли. Получено трёхмерное распределение температуры во внутренних областях Земли.

Ключевые слова: Аккумуляция Земли, распределение температуры, адиабатическое сжатие, случайное распределение падающих тел

Введение

Внутреннее строение Земли, распределение во внутренних областях давления и температуры, а также развитие в ней тектонических, магматических и метаморфических процессов зависят от её начального состояния. При исследовании проблем начального состояния Земли неизбежно возникает вопрос о начальном распределении

температуры во внутренних областях. Получить подобную информацию можно, только опираясь на результаты численного моделирования.

Математическая модель и алгоритм решения

Математическая модель трёхмерного распределения температуры при аккумуляции Земли представляет собой систему уравнений, описывающих баланс импульса, энергии, сохранения массы вещества и задачи Стефана в зонах расплава [1, 2]. Основные уравнения модели записаны следующим образом.

Для вычисления скорости роста слоя зарождающейся планеты используется модель Сафронова [3]:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = 2 \cdot (1 + 2 \cdot \theta) \cdot R^2 \cdot \omega \cdot (1 - \frac{m}{M}) \cdot \sigma \tag{1}$$

где: ω – угловая скорость орбитального движения, σ – поверхностная плотность вещества в зоне «питания» планеты, M – современная масса планеты, R – радиус растущего зародыша, θ – статистический параметр, учитывающий распределение частиц по массам и скоростям в зоне «питания».

Температура на поверхности растущей Земли вычисляется из уравнения, обеспечивающего баланс поступающей части потенциальной энергии гравитационного взаимодействия тел, затраты тепла на нагревание поступившего вещества и переизлучаемый в пространство тепловой поток с учетом прозрачности внешней среды [2]:

$$k \rho \frac{\gamma M}{r} \frac{dr}{dt} = \varepsilon \sigma [T^4 - T_1^4] + \rho c_P [T - T_1] \frac{dr}{dt}$$
⁽²⁾

где: ρ – плотность вещества, G – гравитационная постоянная, M – масса растущей планеты, r – ее радиус, T и T_1 – соответственно, температура тела на границе и внешней среды, ε – коэффициент прозрачности среды, c_p – удельная теплоемкость, k – доля преобразованной в тепло потенциальной энергии.

Распределение температуры в теле находится из решения краевой задачи для уравнения теплопроводности с учетом возможности появления расплава без явного выделения положения границ фазового перехода, конвективного теплопереноса в расплаве и переноса тепла за счёт адиабатического сжатия [7]:

$$c_{3\phi}\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V}\nabla T\right) = \nabla(\lambda_{3\phi}\nabla T) + Q$$
(3)

где: $c_{3\phi}$, $\lambda_{3\phi}$ – эффективные значения теплоёмкости и теплопроводности, которые учитывают теплоту плавления в задаче Стефана [5] и наличие конвективного теплопереноса; T – температура в момент времени t, V – здесь скорость адиабатического сжатия, Q – мощность внутренних источников тепла.

Система уравнений (1) – (3) решается численно. Краевые задачи решаются методом конечных разностей с использованием неявных схем. Шаги по пространственной и временной сетке неравномерные.

Вычислительный алгоритм системы уравнений (1) - (3) выглядит следующим образом. На каждом этапе к зарождающейся Земле добавляется новый слой, время роста которого вычисляется из уравнения (1). После чего пересчитывается распределение в зависимости от радиуса давления, плотности и толщины слоёв. Для нового времени вычисляется тепловыделение от распада ²⁶Al. Энергия адиабатического сжатия вычисляется как разность потенциальной энергии слоя со старого временного шага и потенциальной энергии слоя на новом шаге.

Распределение температуры плавления для ядра и мантии рассчитываются отдельно. В ядре, в основном железного состава, зависимость температуры плавления вычисляется по [5]. В мантии, формирующейся в основном силикатами, используется зависимость температуры плавления от давления, как показано в работе [6]. Области расплава находятся сопоставлением температуры плавления и температуры в каждом узле для данного момента времени.

Используя случайную функцию при вычислении левой части уравнения (2), получаем случайное распределение тепловых неоднородностей.

Решение уравнения (3) получено с помощью схемы расщепления [9]. Эффективная теплоёмкость вычисляется в соответствии с идеей метода решения задачи Стефана без явного выделения фазового фронта [8]. Строится дельта-образная функция для теплоемкости в интервале температур ΔT в точке фазового перехода. Конвективный теплоперенос в слое расплава учитывается с помощью эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{3\phi}$ [5]. Вычисление роста планеты и распределения её температуры производится до выполнения условия, при котором масса растущей планеты равна 90% от современной массы Земли.

Результаты и обсуждение

Используя вышеописанный алгоритм, было вычислено распределение температуры для сферического сектора, внутри углов по долготе и широте 90°. На рис. 1 приведены разрезы сферического сектора последовательно растущей Земли. Как следует из результатов, представленных на рис. 1, полученная модель распределения температуры отражает трехмерное неоднородное распределение температуры в формирующейся Земле. Возникшие тепловые неоднородности от случайных ударов не успевают сгладиться. На рис. 2 для тех же этапов роста даны распределение температуры плавления. Из сопоставления результатов, представленных на рис. 1 и 2, можно проследить области расплава в растущей Земле. Так, на завершающем этапе роста планеты можно наблюдать слой расплава, имеющий также неоднородную тепловую структуру, во внешнем ядре. Такое распределение температуры во внешнем ядре может служить причиной конвективных потоков в нем и формирует неоднородную по мощности переходную зону ядро-мантия. Такая особенность распределения тепла может послужить причиной возникновения процессов тепломассопереноса в мантии Земли. Также для данной модели Земли получены оценки распределения гидростатического давления, температуры плавления в зависимости от давления и варианты распределения температуры для последовательно увеличивающихся размеров растущей планеты.



Рис. 1. Распределение температуры Земли для разных значений достигнутого радиуса: 1 – 1930 км, 2 – 3670 км, 3 – 5220 км, 4 – 6080 км.



Рис. 2. Распределение температуры плавления для разных значений достигнутого радиуса: 1 – 1930 км, 2 – 3670 км, 3 – 5220 км, 4 – 6080 км.

Заключение

Полученные результаты можно рассматривать как начальные условия для решения соответствующей трёхмерной динамической задачи конвекции мантии.

Автор благодарит за ценные рекомендации при подготовке работы научного руководителя д.ф.-м.н. Хачай Ю.В.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 13-05-00138.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилогов В.Н. Возможный вариант дифференциации вещества на начальном этапе формирования Земли / В.Н. Анфилогов, Ю.В. Хачай // ДАН. – 2005. – Т 403. №6. – С. 803-806.

2. Khachay Yu. Variants of temperature distributions in the Earth on its accumulation / Yu. Khachay, V. Anfilogov // The study of the Earth as a planet by methods of geophysics, geodesy, and astronomy. – Kiev, 2009.

3. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет / В.С. Сафронов. – М.: Наука, 1969. – С. 244.

4. Жарков В.Н. Физика планетных недр / В.Н. Жарков, В.П. Трубицин. – М.: Наука, 1980. – 448 с.

5. Стейси Ф.Д. Физика Земли / Ф.Д. Стейси. – М.: Мир, 1972. – 342 с.

6. Kaula E.M. Thermal evolution of Earth and Moon growing by planetesimal impacts // J. Geophys. Res. – 1979, V. 84. – P. 999-1008.

7. Тихонов А.Н. Об эволюции зон плавления в термической истории Земли. / А.Н. Тихонов, Е.А. Любимова, В.К. Власов // Доклады академии наук СССР. – 1969. – Т. 188. – №2. – С. 338-341.

8. Самарский А.А. Экономичная схема сквозного счета многомерной задачи Стефана / А.А. Самарский, Б.Д. Моисеенко // Ж. вычислит. Мат. и мат. физики. – 1965. – Т.5. – С. 816-827.

9. Берковский Б.М. Разностные методы исследования задач теплообмена / Б.М. Берковский, С.В Ноготов. – Минск: Наука и техника, 1976. – 142 с.

SOLUTION OF PROBLEM OF HEATTRANSFER AT ACCUMULATION OF THE EARTH IN 3D MODEL WITH ADIABATIC COMPRESSION AND CASUAL DISTRIBUTION OF FALLING BODIES

Alexandr Antipin

Institute of Geophysics, Ural's Department RAS, Yekaterinburg anantipin@rambler.ru

Summary. On the basis of model of accumulation of planets of the terrestrial group offered in work [1] the solution of a problem of heattransfer, taking into account adiabatic compression and casual distribution of not uniformity at accumulation of Earth is received. Three-dimensional distribution of temperature in internal areas of Earth is received.

Key words: Accumulation of Earth, distribution of temperature, adiabatic compression, casual distribution of the falling bodies

УДК 550.837.61 КОМПЛЕКС МНОГОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Арзамасцев Евгений Владимирович¹, Исламгалиев Дмитрий Владимирович² ¹ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург

deazer51@mail.ru ²УГГУ, г. Екатеринбург dif1205@mail.ru

Аннотация. Описан электроразведочный комплекс индукционного зондирования среды. Описаны принцип действия аппаратуры, результаты проведения экспериментов с ее использованием.

Ключевые слова: Электроразведка, инженерные изыскания, фазочувствительная аппаратура, широкополосные измерения, трехкомпонентный измеритель

В настоящее время электроразведка активно используется при проведении инженерных и инженерно-экологических изысканий под строительство дорог, трубопроводов, зданий и других объектов инфраструктуры. При этом перед электроразведкой ставится задача выявить внутреннее строение геологического разреза на глубине первых десятков метров. Наиболее распространенными методами при проведении инженерных изысканий являются методы с гальваническим контактом питающей и приемной линий – вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и срединного градиента. При всех своих достоинствах, эти методы достаточно трудоемки и требуют условий для хорошего заземления, в связи с чем их неудобно использовать при наличии высокоомного верхнего слоя (курумники, лед, замерзшая почва). При строительстве протяженных объектов, таких как железные дороги, трубопроводы, ЛЭП и пр. проведение изысканий методом ВЭЗ с достаточно хорошей детальностью оказывается очень затратным мероприятием. Особенно это касается районов распространения вечной мерзлоты, поскольку строительство в таких районах должно производиться при наличии полной информации о строении грунтов, зонах мерзлоты и оттайки [1]. По этим причинам в настоящее время активно исследуются возможности создания бесконтактных высокопроизводительных технологий зондирования верхней части геоэлектрического разреза [2, 3].

Разработанный в лаборатории электрометрии Института геофизики УрО РАН комплекс многочастотного индукционного зондирования имеет в своем составе цифровой генератор тока, рамочный излучатель, и широкополосный приемник с трехкомпонентной индукционной антенной. Измерения поля производятся с учетом фазы первичного магнитного поля рамочного излучателя путем регистрации напряжения на резистивном шунте в цепи излучающего контура.

Цифровой генератор тока может генерировать сигналы, состоящие из суммы гармоник в диапазоне от 0 до 7 кГц. Форма излучаемого сигнала в 16-битном разрешении задается записью во внутреннюю флэш-память генератора через интерфейс RS-232 и СОМ-порт компьютера. Генератор осуществляет цифро-аналоговое преобразование записанного сигнала. Затем, путем широтно-импульсной модуляции напряжения формирует величину тока в подключенной индуктивной нагрузке – излучающем контуре, пропорционально напряжению выхода цифро-аналогового преобразователя.



Рис.1. Комплекс многочастотного индукционного зондирования.
 1 – генератор тока, 2 – излучающий контур, 3 – резистивный шунт, 4 – измеритель,
 5 – трехкомпонентный датчик магнитного поля. ρ – удельное сопротивление слоя изучаемого разреза, 6 – бифилярная линия

Широкополосный приемник имеет в своем составе 5 каналов. Три из них выделены для измерения трех компонент магнитного поля, остальные зарезервированы под измерение электрических составляющих электромагнитного поля, а также получение опорного сигнала от генератора. Опорный сигнал используется для определения фазовых характеристик измеряемого магнитного поля. Все каналы имеют разрядность аналого-цифрового преобразования 24 бит. Частота преобразования АЦП составляет 15625 Гц, что позволяет работать в непрерывном спектре частот от 0 до 7 кГц включительно. Среднеквадратичный уровень шумов измерителя в полосе до 7 кГц не превышает 6,9 мкВ. В процессе работы измеритель сохраняет данные на жесткий диск ноутбука, на котором впоследствии осуществляется цифровая обработка. Связь измерителя и ноутбука осуществляется по шине USB. Приемник содержит модуль GPS, с помощью которого могут быть получены координаты комплекса, а также выполнена синхронизация работы измерителя и генератора по сигналу точного времени. Трехкомпонентный датчик магнитного поля (рис. 2) состоит из трех взаимноортогональных ферритовых индукционных преобразователей магнитного поля, собранных в единую конструкцию. Эталонирование датчика выполнено в поле вертикального магнитного диполя на расстоянии 25 м от него. В качестве эталона использовался датчик магнитотеллурической аппаратуры АМТ-02 [4]. Расстояние было выбрано с целью захвата всего частотного диапазона работы комплекса, определения амплитудных и фазовых частотных характеристик датчиков и измерительных каналов. В будущем планируется продолжить опытные работы с целью уточнения калибровочных соотношений и проверки их стабильности.

Определение фаз измеряемых компонент поля осуществляется путем измерения величины тока в контуре излучателя одновременно с измерением компонент поля, и расчета фазы гармоник ряда Фурье измеряемого магнитного поля и тока в контуре.



Рис. 2 Трехкомпонентный датчик магнитного поля 1, 2, 3 – ортогональные ферритовые антенны.

Напряжение датчика тока от генератора в измеритель передается по экранированной витой бифилярной линии (см. рис. 1).

В ходе экспериментов с применением комплекса были получены амплитуды и фазы трех пространственных компонент магнитного поля, из которых при помощи формул (1-3) были рассчитаны величины кажущегося сопротивления исследуемой среды. Формулы (1-3) являются следствием зависимостей компонент поля вертикального магнитного диполя на поверхности проводящего полупространства от частоты, разноса и удельного электрического сопротивления среды [5].

$$\rho_k = c_{zr} f R^2 |H_z| / |H_r|, \ c_{zr} = 2$$
(1)

$$\rho_k = c_{\varphi_r} f R^2 / \varphi_r, \ c_{\varphi_r} = 53 \ \left(\varphi_r = 270 - arctg \frac{JmH_r}{ReH_r}\right)$$
(2)

$$\rho_k = c_{\varphi_z} f R^2 / \varphi_z, \ c_{\varphi_z} = 102 \ \left(\varphi_z = \operatorname{arctg} \frac{JmH_z}{ReH_z} - 180 \right)$$
(3)

где ρ_k – кажущееся сопротивление полупространства в Ом-м, H_z , H_r –вертикальная и радиальная компоненты магнитного поля, c_{zr} , $c_{\varphi r}$, $c_{\varphi z}$ – коэффициенты пропорциональности, φ_z , φ_r – фазовые углы вертикальной и радиальной компонент магнитного поля, R – расстояние между генератором и измерителем (в км), f – частота тока (в Гц).

Графики кажущегося сопротивления полупространства, рассчитанные с использованием отношения вертикальной к радиальной составляющим магнитного поля и фазовой составляющей радиальной компоненты поля приведены на рис. 3 и 4.



Рис. 3. Частотная зависимость ρ_k [Ом*м] полупространства на разносах 75 м и 100 м. По оси абсцисс – частота [Гц]. Расчет по формуле 2.





Различие характеристик кажущегося сопротивления при расчете с помощью различных соотношений обусловлено, скорее всего, вертикальной неоднородностью разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лушникова О.Ю. Особенности строительства в районах Крайнего Севера и на приравненных к ним территориях / О.Ю. Лушникова // Вестник Уральского отделения РАН. – 2009. – №2. – С.34-37.

2. GEM-2: A new multifrequency broadband electromagnetic sensor / I.J. Won., D.A. Keiswetter, George R.A. Fields, L.S. Sutton // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – Volume1. – 2006. – p.129-137.

3. Байдиков С.В. Аппаратура для индукционных электромагнитных зондирований «МЧЗ-8» / С.В. Байдиков, А.И. Человечков // Уральский геофизический вестник. – 2011. – №1. – С. 4-8.

4. Коноплин А.Д. Аппаратура высокочастотного магнитотеллурического зондирования / А.Д. Коноплин // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 33 сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. – 2006. – С. 147.

5. Якубовский Ю.В. Электроразведка / Ю.В. Якубовский, И.В. Ренард. – М.: Недра, 1991. – С. 68-69.

THE SYSTEM OF MULTIFREQUENCY INDUCTION SOUNDING

Arzamascev Evgeny Vladimirovich¹, Islamgaliev Dmitry Vladimirovich² ¹IGF UB RAS, Ekaterinburgh deazer51@mail.ru ²USMU, Ekaterinburgh dif1205@mail.ru

Summary. The system of electrical survey by induction sounding is described. Principle of operation and results of experiments with it is showed. **Key words**: Electrical survey, engineer survey, phase-sensitive equipment, broadband measurement, three-components magnetic sensor

УДК 550.36 МОНИТОРИНГОВЫЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИНАМИКИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ)

Артемьев Денис Андреевич

ПГНИУ, г. Пермь denis.art.art@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается методика и возможность применения методов электроразведки в целях мониторингового контроля и прогнозирования негативных геологических процессов. Ключевые слова: мониторинг, электрометрия, сопротивление, скорость,

растворение солей

Понятие мониторинга окружающей среды впервые было введено в употребление Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН. Мониторингом было предложено называть систему повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой. В нашей стране одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю.А. Израэль (1984), который определил мониторинг как систему наблюдений, позволяющую выделить изменения биосферы под влиянием человеческой деятельности. Геофизический мониторинг, по существу, является специфическим видом мониторинга окружающей среды, осуществляемого в целях оценки и прогнозирования экологически опасных природных, природно-техногенных и техногенных геологических процессов.

В настоящее время весьма широкое распространение получили различные виды мониторинга. Однако далеко не все параметры остаются охваченными, также не всегда изменения контролируемых параметров являются первыми вестниками изменения геологической среды, а некоторые виды мониторинговых наблюдений рассматривают лишь свойства, которые возникают после негативного геологического процесса. Поэтому требуется разработка и развитие системы мониторинговых наблюдений свойств среды, которые являются предвестниками образования и развития негативных геологических процессов. Таким видом мониторинговых наблюдений могут являться мониторинговые наблюдения электрического сопротивления.

Целью данной работы является изучение возможности применения мониторинговых наблюдений электрического сопротивления для контроля и прогноза динамики негативных геологических процессов.

При изучении этих возможностей выполнялись мониторинговые электроразведочные работы на территории Верхнекамского месторождения калийных солей.

Проводимые мониторинговые наблюдения можно разделить на 2 вида выполняемых работ: площадные (региональные) и стационарные.

Площадной мониторинг охватывает своими наблюдениями потенциально опасные участки для формирования деформаций земной поверхности. Основой является сопоставление результатов съемки ВЭЗ и ТЭМП, сделанных через определенное время (месяц, год), съемка проводится каждый раз по идентичной, заранее сформированной методике. Устанавливаются степень изменчивости кажущегося электрического сопротивления и скорость изменения геоэлектрического поля, выделяются зоны, при наличии, повышенной опасности.

Стационарный мониторинг представляет собой проведение измерений электрического сопротивления с использованием неизменного положения измерительной установки на участках, выделенных по данным площадного мониторинга и представляющих повышенную опасность.

Стационарный мониторинговый контроль электрического сопротивления основан на использовании геометрического принципа зондирования с использованием многоканальных площадных измерений возбуждаемого электрического поля. Была разработана и использована специальная методика мониторингового контроля, которая включает в себя следующие этапы работ:

1. анализ результатов количественной интерпретации материалов электрического зондирования исследуемой территории с целью выбора оптимального размера, параметров измерительной установки, обеспечивающих контроль свойств заданного интервала глубин разреза;

2. проведение детальных наблюдений с целью оценки фонового уровня измеряемого сигнала и интервала мониторингового контроля обследуемого участка;

3. проведение регулярных измерений, согласно выбранному временному интервалу.

Для проведения стационарных мониторинговых наблюдений используется измерительная система с неизменным положением электродов, обеспечивающая идентичность условий генерации и измерений поля на протяжении всего периода наблюдений. Для генерации электрического тока на питающих линиях и измерения разности потенциала на приемных электродах был использован коммутатор, обеспечивающий связь со всеми расположенными на участке электродами, генератор постоянного тока и измеритель разности потенциала АМС-1.

расположение Неизменяемое электродов на участке способствовало применению различных типов измерительных установок: четырехэлектродная установка Шлюмберже, дипольная (азимутальная, радиальная), двух-, трехэлектродные установки. Глубинный контроль изменения сопротивления основывался на методе срединного градиента, эффективная глубина соответствовала 1/4-1/3 длины питающей линии. Для изучения верхней части разреза, с целью устранения искажений результатов, вызываемых изменением состава приповерхностной части разреза, оптимизации, увеличения объема получаемой информации, размеров интервала эффективных глубин, было использовано сочетание различных модификаций установок.

В результате проведения мониторинговых наблюдений электрического сопротивления получается информация о степени изменчивости электрического сопротивления на определенной территории в определенное время, но для контроля и прогноза динамики развития различных негативных геологических процессов необходимо изучение взаимосвязи скорости изменения электрического сопротивления с количественными параметрами образования данных процессов.

С этой целью была сделана попытка разобрать в первом приближении физикогеологическую модель образования деформаций земной поверхности на ВКМКС, вызванных растворением калийных солей.

Возьмём в качестве примера, модель с растворением соляно-мергельной толщи сверху вниз. Предположим, что породы залегают снизу-вверх следующим образом: покровные калийные соли (ПКС), соляно мергельная толща (СМТ), теригеннокарбонатная толща (ТКТ), являющаяся водозащитной толщей (ВЗТ) для СМТ. Предположим, что между СМТ и ТКТ залегают прослойки рассольных горизонтов, состоящих из высокоминерализованной воды, над ТКТ залегают глинистые водоносные горизонты. В местах, приуроченных к тектоническим несогласиям в ВЗТ, начинают образовываться трещины, которые со временем развиваются, увеличиваясь в размерах. Затем, при выходе трещин к большому объему вышележащих пресных вод, трещины начинают заполняться водой. При выходе трещин к рассольным горизонтам, пресная вода поступает в рассол, тем самым снижая его минерализацию и повышая растворяющую способность. В момент, когда минерализация достигает уровня ненасыщенного раствора, начинается растворение солей, за счет растворения солей повышается минерализация раствора. При незначительном поступлении пресных вод процесс может остановиться на моменте, когда минерализация вновь достигнет значения насыщенного раствора. Но при большом объеме поступающих пресных вод преобладает уменьшение минерализации и увеличение растворяющей способности. Растворение солей наиболее активно будет происходить в верхней части контакта СМТ с раствором, так как в этой части будет повышенное поступление пресных вод и наименьшая минерализация раствора, а наиболее минерализованный раствор, под силой тяжести, будет оседать в нижней части контакта. Одновременно с образованием полости СМТ под действием силы тяжести будет происходить проседание вышележащих толщ. В дальнейшем, с увеличением полости в СМТ, когда сила тяжести вышележащих толщ превысит силы их сдерживающие, произойдет обрушение вышележащих толщ.

Поскольку удельное электрическое сопротивление рассолов обратно пропорционально их минерализации, то по мониторинговым наблюдениям, контролируемым глубинам залегания рассольных горизонтов, можно оценить степень изменения минерализации находящихся в них водных растворов.

$$\rho_{pac} = \frac{K}{M_{pac}},\tag{1}$$

где ρ_{pac} – удельное электрическое сопротивление рассолов, M_{pac} – минерализация рассола, К – коэффициент пропорциональности между удельным электрическим сопротивлением и минерализацией рассолов (определяется на основании корреляции данных бурения и электрометрии), для воды, при температуре 20°С, равен 10/ Δ (Δ – эквивалентная электропроводность солей, растворенных в воде) [3].

Введем понятие скорости изменения параметра, выражаемой как отношение изменения параметра за определенный период времени к среднему значению параметра за единицу времени. Для сопротивления скорость изменения будет выражаться как:

$$v_{\rho} = \frac{2^{*}(\rho_{t} - \rho_{0})}{(\rho_{0} + \rho_{t})^{*}\Delta t},$$
(2)

где ρ_0 – сопротивление в начальный момент времени, ρ_t – сопротивление в момент времени t, Δt – период времени, за который происходит сравнение параметров.

Если выразить в уравнении сопротивление через минерализацию, то:

$$v_{\rho} = \frac{2 * \left(\frac{K}{M_{t}} - \frac{K}{M_{0}}\right)}{\left(\frac{K}{M_{t}} + \frac{K}{M_{0}}\right) * \Delta t} = \frac{2 * (M_{0} - M_{t})}{(M_{0} + M_{t}) * \Delta t} = -v_{M},$$
(3)

скорости изменения сопротивления и минерализации равны между собой, но имеют разные знаки.

Общая минерализация раствора будет изменяться в двух направлениях: в сторону ее уменьшения, за счет поступления пресных вод в раствор, и в сторону увеличения, за счет растворения солей и поступления их в раствор. Изменение общей минерализации раствора, в первом приближении, можно выразить как:

$$\Delta M = \frac{(M_0 V_0 + M_n V_n + m_{pc})}{(V_0 + V_n + V_{pc})} - M_0 = \frac{M_n V_n + m_{pc} - M_0 (V_n + V_{pc})}{(V_0 + V_n + V_{pc})},$$
(4)

где M_0 – минерализация раствора в начальный период времени, V_0 – объем, занятый водным раствором в начальный период времени, M_{π} – минерализация пресных вод, поступивших в раствор, V_{π} – объем пресных вод, поступивших в раствор, m_{pc} – масса солей, растворившихся рассолом и поступивших в него, V_{pc} – объем, высвободившийся в результате растворения и занятый раствором.

Скорость изменения минерализации выражается как:

$$v_{M} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \div \frac{1}{2} \left(\frac{(M_{0}V_{0} + M_{n}V_{n} + m_{pc})}{(V_{0} + V_{n} + V_{pc})} + M_{0} \right) = \frac{2(M_{n}V_{n} + m_{pc} - M_{0}(V_{n} + V_{pc}))}{(2M_{0}V_{0} + M_{n}V_{n} + m_{pc} + M_{0}(V_{n} + V_{pc}))\Delta t} .$$
(5)



Рис. 1. Растворение солей и формирование пустот и аварийной зоне БКРУ-3 в период с 11.01.86 г. по 08.03.86 г.: 1 – объем пустот, сформированных над выработками поступающими рассолами (V₁= 20 500 м³); 2 – объем пустот, сформированных на уровне горных выработок за счет дефицита насыщении поступавших рассолов (V₂ = 4221 м³);

3 – недонасыщенность рассолов, поступивших в горные выработки [1].

Следовательно, зная скорость изменения минерализации (сопротивления) рассольных горизонтов, объем и скорость поступления пресных вод в раствор, теоретически, мы можем оценивать количество растворенных солей за определенный период времени.

Но при поступлении большого объёма пресных вод влияние растворенных солей на уровень минерализации будет мало. Поэтому следует оценивать количество растворенных солей по уровню растворяющей способности раствора (R).

$$R = \frac{m_{pc}}{V * \Delta t},\tag{6}$$

где V – объём раствора, необходимый для растворения m_{pc} , Δt – период времени, за который происходит растворение m_{pc} объёмом V.

Растворяющая способность, как видно на рисунке, обратно пропорциональна уровню минерализации раствора, поэтому можно связать их между собой некоей функцией:

 $R = f(M) \tag{7}$

В заключение отметить, что, установив можно зависимость между растворяющей способностью раствора и минерализацией, зная скорость изменения минерализации (сопротивления) рассольных горизонтов, объем И скорость поступающих пресных вод, возможна оценка количества и скорости растворения солей за определенный период. Для дальнейшего развития направления необходимо более подробное изучение взаимосвязи между минерализацией растворяющей И способностью рассолов и между объёмом растворенных солей и скоростью проседания вышележащих пород. Основным инструментом для прогнозирования динамики физико-геологических процессов является комплексный мониторинг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейчук В.Н. Причины и механизм образования Березниковского провала // Геоэкология (Инженерная геология. Геокриология). – №1. – 1996. – С. 17-34.

2. Богословский В.А., Жигалин А.Д, Хмелевской. В.К. Экологическая геофизика: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 256 с.

3. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А., Петрофизика. – М.: Недра, 1991. – 386 с.

4. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. – М: Научный мир, 2007. – 248 с.

MONITORING GEOELECTRIC OBSERVATIONS IN STUDYING THE DYNAMICS OF CHANGES IN THE PHYSICAL ENVIRONMENT

Denis Artemjev Perm State University, Perm denis.art.art@mail.ru

Summary. This article discusses the methodology and the possibility of using electrical methods in order to control the monitoring and prediction of adverse geological processes.

Key words: monitoring, electrometer, resistance, rate, dissolving salts

УДК 550.34 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ SUASSELKÄ POST-GLACIAL FAULT (СЕВЕРНАЯ ФЕННОСКАНДИЯ)

Афонин Никита Юрьевич

ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск afoninnikita@inbox.ru

Аннотация. В работе произведен расчет дисперсионных зависимостей фазовых скоростей поверхностных волн по кросс-корреляционным функциям микросейсмического шума. Особенности геометрии временной сейсмической сети и спектрального состава микросейсмического шума приводят к значительным ошибкам при инверсии дисперсионных кривых в скоростные разрезы. Для их минимизации при построении скоростных разрезов применен подход, основанный на симметричности функции Грина, а так же на особенностях метода сейсмической интерферометрии. Полученные с применением такого подхода результаты хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями строения верхней части земной коры в рассматриваемом районе.

Ключевые слова: микросейсмический шум, сейсмическая интерферометрия, дисперсия фазовых скоростей поверхностных волн.

На сегодняшний день во всем мире активно развиваются пассивные методы исследования строения земной коры и верхней мантии, основанные на применении микросейсмического шума. Основными преимуществами таких методов являются: отсутствие необходимости в специальных источниках зондирующего сигнала, а также относительная простота и доступность реализации. Все существующие сейсмические методы исследования строения геологической среды, основанные на пассивных наблюдениях, условно подразделяются на дисперсионные и статистические. В дисперсионных методах из микросейсмического шума при помощи кросс-корреляции извлекается информация о зависимости фазовых скоростей поверхностных волн от частоты [3]. Методы статистической группы основаны на наличии связи пространственного распределения некоторых статистических характеристик микросейсмического поля с пространственным распределением акустических свойств геологической среды [4, 5].

В данной работе для изучения строения верхней части земной коры в районе SUASSELKÄ POST-GLACIAL FAULT (Северная Фенноскандия) применялся метод дисперсионного анализа поверхностных волн [1]. В основном данный метод применяется для изучения глубинного строения Земли с использованием данных стационарных сетей сейсмических станций [1, 7]. Применение этого метода для изучения строения верхней части земной коры на основе данных временных сейсмических сетей недостаточно изучено для его практической реализации. Трудности обработки исходных данных связаны с малыми, относительно длин волн зондирующего сигнала, расстояниях между пунктами наблюдения, что приводит к значительным ошибкам при построении скоростных разрезов. Поэтому возникает необходимость методической проработки специальных подходов при решении подобных задач.

Для получения зондирующего сигнала применялся метод сейсмической интерферометрии, основанный на кросс-корреляции записей микросейсмического шума [3, 6]. Обработка проводилась в программе Seismic Handler (Klaus Stammler, Гремания). Важным преимуществом этой программы является автоматизация процесса расчета кросс-корреляционных функций за счет написания дополнительных скриптов. В качестве исходного сигнала был использован микросейсмический шум, записанный временной сейсмической сетью, состоящей из 8 короткопериодных и 4 широкополосных сейсмических станций, установленных в районе Suasselkä post-glacial fault Северной Фенноскандии. Данные для обработки были предоставлены коллегами из Геофизической обсерватории Соданкюла университета г. Оулу (Финляндия) в рамках международного сотрудничества.

Процедура предварительной обработки записей включает следующие операции: фильтрация исходного сигнала в полосе частот 0,1-1 Гц, просмотр записей каждой станции и исключение из обработки участков, содержащих землетрясения, взрывы и различные сбои в работе аппаратуры. После деконволюции, был выполнен расчет кросс-корреляционных функций вертикальных компонент шума между каждой парой станций с последующим их суммированием за период 1 год. Для получения дисперсионных зависимостей фазовых скоростей поверхностных волн, кросс-корреляционные функции были отфильтрованы узкополосными фильтрами (ширина 0,05 Гц). Ширина полосового фильтра подбирается экспериментально исходя из условия возможности выделения максимума кросс-корреляционной функции, тогда, в данном случае, групповая скорость поверхностных волн в данной полосе частот приблизительно считается фазовой скоростью. Такая особенность микросейсмического поля сказывается на разрешающей способности дисперсионного метода.

При инверсии дисперсионных кривых в скоростные разрезы возникает ряд трудностей, связанных с геометрией сети и спектральным составом исходного сигнала. Рассматриваемая сейсмическая сеть расположена на участке размером 20 х 50 км, а среднее расстояние между станциями составляет 8-12 км. Спектральные максимумы зондирующего сигнала для данной территории находятся в полосе частот 0,1-1 Гц, следовательно, большинство станций расположены в ближней зоне друг друга для некоторых длин волн, поэтому, при вычислении фазовых скоростей для волн из низкочастотной области спектра, получаются значительные ошибки. Кроме того, при изучении верхней части разреза используется высокочастотный сигнал, который значительно искажается на больших относительно длин волн расстояниях и, следовательно, не выделяется в виде максимума в кросс-корреляционной функции. Для минимизации таких ошибок при построении скоростных разрезов, нами был применен подход, основанный на симметричности функции Грина и на том, что при кросс-корреляции любая из пары станций может одновременно рассматриваться как источник и как приемник [3]. В нашем случае, для построения верхней части разреза в качестве источников и приемников применялись станции наименее удаленные друг от друга. При построении нижней части разреза применялись функции Грина, рассчитанные для пар станций наиболее удаленных друг от друга. В некоторых случаях, для максимального увеличения разрешающей способности, применялся тот факт, что функция Грина содержит информацию о средней скорости волны между пунктами наблюдения. Таким образом, скоростные характеристики геологической среды между станциями, расположенными в ближней зоне, можно найти вычитанием из скоростей, полученных между станциями, которые наиболее удалены друг от друга.

Описанный выше подход был применен при построении скоростного разреза по данным 6 станций рассматриваемой сети (рис.1). На рисунке 1 цветом обозначены фазовые скорости поверхностных волн, по горизонтальной оси расстояние вдоль профиля, по вертикальной оси глубина. Треугольниками обозначены пункты установки временных сейсмических станций. Разрешающая способность по горизонтали пропорцио-
нальна расстоянию между сейсмическими станциями и убывает с глубиной. Это связано с тем, что фазовая скорость поверхностной волны, регистрируемая на поверхности, характеризует скоростные характеристики геологической среды на глубине приблизительно равной 1/3 длины волны [7]. Максимально возможная разрешающая способность по горизонтали обеспечивается за счет комбинации сейсмических станций в качестве источников и приемников таким образом, что бы расстояние между ними всегда было не меньше двух длин волн.



На рисунке 2 представлено строение литосферы вдоль профиля POLAR [2]. Временная сейсмическая сеть расположена в районе зеленокаменного пояса Karasjok-Kittila протерозойского возраста, представленного вулканическими породами. Согласно результатам исследования [2], скорости поперечных волн в данном районе находятся в интервале от 3710 до 3780 м/с (рис. 2б). По полученным данным (рис. 1) с использованием описанного выше подхода на участке, ограниченном станциями DF09 и DF07, на глубине порядка 4 км выделяется слой повышенных скоростей (4500-5500 м/с), на участке DF07-DF12 аналогичный слой выделяется на глубине 6 км. Ниже залегает слой, который характеризуется более низкими скоростями (3500-4000 м/с). Сопоставление модели литосферы (рис. 2а) с результатами (рис. 1) показывает хорошее согласование: четко выделяется слой гранитов, характеризуемый повышенными скоростями сейсмических волн, а также слой диоритов, находящийся на большей глубине и характеризующийся более низкими скоростями. Разность в глубинах залегания слоев гранита на разных участках профиля также соответствует модели. Следует отметить, что нами получены интегральные скорости, которые отличаются от средних скоростей, полученных по методу ГСЗ (рис 2б). Однако, если привести полученные скорости к средним значениям, то получим хорошее согласование с данными ГСЗ.

Таким образом, полученные результаты показывают высокую перспективность применения описанного подхода для детализации строения верхней части земной коры. Максимально возможное качество получаемых результатов может быть достигнуто комплексным применением статистических и дисперсионных методов, основанных на применении микросейсм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яновская Т.Б., Королева Т.Ю. Скоростное строение верхней мантии в зоне перехода от Восточно-Европейской платформы к Западной Европе по данным сейсмического шума // Физика Земли. 2012. № 6. С. 1–7.

2. Janik T., Kozlovskaya E., Heikkinen P., Yliniemi J., Silvennoinen H. Evidence for preservation of crustal root beneath the Proterozoic Lapland-Kola orogen (northern Fennoscandian Shield) derived from P and S wave velocity models of POLAR and HUKKA wideangle reflection and refraction profiles and FIRE4 reflection transect // Journal of Geophys, 2009, Res 114:B06308. doi:10.1029/2008JB005689

3. Wapenaar K., Draganov D. Tutorial on seismic interferometry // Journal of Geophys. VOL. 75, № 5. 2010. Pp. 75A195–75A209.

4. Nakamura Y. A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 1989. V.30. №1. pp. 25-33.

5. Noguchi T., Nishida R. Determination of subsurface structure of Tottori plain using mi-crotremors and gravity anomaly // Journal of Natural Disaster Science. 2002. V.24. № 1. Pp. 1-13.

6. Shuster G.T. Seismic interferometry.Cambridge University Press. 2009. 320 p.

7. Yang Y., Ritzwoller M.H., Levshin A.L., Shapiro N.M. Ambient noise Rayleigh wave tomography across Europe // Journal of Geophys. Int. 2007. V.168. Pp. 259-274.

METHODICAL SPECIFIC APPLICATION OF AMBIENT MICROSEISMIC NOISE FOR STUDY UPPER CRUST OF THE SUASSELKÄ POST-GLACIAL FAULT (NORTHERN FENNOSCANDIA)

Nikita Afonin IEPN UB RAS, Arkhangelsk afoninnikita@inbox.ru

Summary. In our study, we used cross-correlation of ambient microseismic nose for calculate of dispersion curves phase velocities of surface waves. Geometry of seismic array and spectrum characteristics of ambient microseismic noise caused difficulties with processing of the data and interpretation of results. We used symmetry of Green's functions and specific of seismic interferometry for minimize faults. **Key words:** microseismic noise, seismic interferometry, dispersion of phase velocities of surface waves.

УДК 550.832 НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН В РЕЖИМЕ ЧЕЛНОЧНОГО КАРОТАЖА

Баженова Евгения Анатольевна, Вдовин Алексей Геннадьевич ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург Bazenova_Jena@mail.ru, Agvd@bk.ru

Аннотация. Представлена новая технология исследования скважин. Показана эффективность методики челночного каротажа при изучении современной геодинамической обстановки исследуемого района. Приведены примеры использования челночного каротажа в одной из скважин на железорудном месторождении Северо-Тараташского участка (Южный Урал).

Ключевые слова: челночный каротаж, геоакустическая эмиссия, электромагнитное излучение, скважина

В районах разработки и добычи полезных ископаемых нередки случаи проявления горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений, что влечет за собой экономические и человеческие потери. Поэтому проблема оценки изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, прогноз и предупреждение удароопасности приобретает особую остроту. Различия в механизмах геодинамических явлений, энергии и степени воздействия на окружающую среду определили различные подходы к оценке напряженно-деформированного состояния таких массивов и прогнозу динамических явлений в них.

Отличительной особенностью рудных месторождений является их генетическая приуроченность к узлам тектонических нарушений, что обуславливает блочное строение массивов горных пород с различными условиями распределения естественных напряжений, образующих зоны сжатия, растяжения и сдвига.

Установлено, что процесс формирования электромагнитного излучения (ЭМИ) отражает динамику зарождения и развития структурного разрушения пород. При этом процесс излучения носит импульсный характер: по мере перехода процесса разрушения с низшего энергетического уровня на более высокий энергетический уровень возрастают параметры ЭМИ (число импульсов, напряженность) [2]. В то же время, способность горных пород излучать акустические импульсы используется для получения информации о неоднородности, нарушенности, напряженном состоянии горных пород, а также развивающихся в земной коре динамических процессах. В горных породах при хрупком разрушении геоакустическая эмиссия (ГАЭ) обусловлена развитием микро- и макротрещин. По ГАЭ оценивают ударопрочность горных пород, контролируют состояние массива пород и процессы разрушения.

Изучение связи между ЭМИ и ГАЭ в скважинах позволяет не только понять механизм природы процесса, но и охарактеризовать динамические свойства трещиноватой среды, определить какой из ее параметров, проявляющихся в полях различной физической природы, является доминирующим и ответственным за наблюдаемый процесс. Учитывая иерархичность геосреды на разных масштабных уровнях, изучение связи ГАЭ и ЭМИ дает возможность получить дополнительные данные при изучении современных геодинамических процессов [1]. Проведение мониторинга геоакустической и электромагнитной эмиссий в скважине одновременно в разных частотных диапазонах позволяет получать новую информацию о динамике зарождения и развития структурного разрушения пород. Выделение динамически активных зон является актуальной задачей, имеющей практическое значение как при бурении скважин, так и изучении тектоники месторождений.

Проведение первичных и повторных измерений геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения показали, что амплитуда сигналов этих полей не постоянна во времени. Было принято решение, для оценки изменения современной геодинамической обстановки горных пород, проводить исследования скважины не только в режиме обычного каротажа, но и в режиме каротажа с перекрытием нескольких точек по стволу скважины в течение нескольких часов. То есть, после проведения первичного каротажа выбирается определенный участок в скважине, вызвавший наибольший интерес как по геологическим данным, так и по результатам исследования ГАЭ и ЭМИ. Этот участок разбивается на несколько равных частей с контрольными точками на границах. Между контрольными точками ведется каротаж. На контрольных точках производятся краткосрочные режимные измерения. Измерения могут длиться от 2 часов и более, в зависимости от времени, выделенного на каротажные работы. Эта методика получила название челночного каротажа.

По данной методике были проведены измерения в нескольких скважинах. На рисунке 1 приведен пример исследования в скважине, пробуренной на железорудном месторождении Северо-Тараташского участка (Южный Урал).



Рис.1. Результаты комплексных исследований магнитной восприимчивости, геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения в скв. №1 (Северо-Тараташский участок, Южный Урал).

По геолого-геофизическим данным, рудное тело залегает в интервале глубин 288-376 м. Оно представлено кварцитами с магнетитовым оруденением. Верхняя часть оруденения до глубины 328 м довольно неоднородна по составу, а нижняя (328-376 м) представлена плотными магнитными породами. По диаграмме ЭМИ на частоте 45 кГц (F1) на глубинах 288, 320 и 375 м четко отмечаются контакты вмещающих пород с рудным телом. Основной особенностью измеренных значений ГАЭ в диапазонах частот 100-500 Гц (H1) и 500-5000 Гц (H2) является их стабильность во всем интервале исследований, тогда как в интервале глубин 288-320 м наблюдается повышенный уровень акустической эмиссии частотного диапазона 2500-5000 Гц (H4). Это говорит о





Рис.2. Результаты краткосрочных режимных наблюдений в скв. №1 (Северо-Тараташский участок, Южный Урал)

Для проведения измерений по методике челночного каротажа был выбран участок с 263 м до 323 м, с пятью контрольными точками на глубинах 263 и 278 м – в кварцитах, на глубинах 293 м, 308 и 323 м – в рудном теле (рис. 2). Зона кварцитов на глубинах 263 м и 278 м является динамически спокойной зоной. Здесь не проявляется никакой активности ни по ЭМИ, ни по ГАЭ. Интервал глубин 285-298 м, судя по данным каротажа электромагнитного излучения на частоте 45 кГц, является динамически активной зоной с признаками зарождения и развития структурного разрушения пород. Действительно, при режимных наблюдениях на контрольной точке 295 м наблюдаются высокоамплитудные сигналы как в области ЭМИ (F1), так и не отмеченные при каротаже во всех частотных диапазонах сигналы ГАЭ. Данный результат может свидетельствовать о процессах разрушения горных пород спонтанного характера, которые являются квазипериодичным во времени. Вследствие чего, данный процесс не отразился на каротажных диаграммах ГАЭ, но проявился при режимных наблюдениях (см. рис. 2). В рудной зоне (308 м) наблюдается пассивность как сигналов ГАЭ, так и сигналов ЭМИ всех частотных диапазонов. На глубине 323 м наблюдается стабильность значений ЭМИ во всех частотных диапазонах, но наблюдаются локальные аномалии ГАЭ, обусловленные, скорее всего, контактом пород.

Таким образом, в целом геологическую среду в районе скв. №1 можно охарактеризовать как динамически пассивную. Наибольшая активность ЭМИ и ГАЭ наблюдается, прежде всего, в приконтактовых зонах и зонах метаморфизованных пород.

В результате применения методики челночного каротажа появляется возможность за достаточно короткий период времени, что особенно актуально в районах разработки месторождений, выявить динамику изменения сигналов геоакустической эмиссии и электромагнитного излучения геологической среды околоскважинного пространства не только по оси скважины, но и во времени на каждой контрольной точке. Это позволяет не только разделять геологический разрез на динамически активные и пассивные участки, но изучать их характер во времени. Данная информация позволяет оценивать на качественном уровне степень нарушенности горных пород и прогнозировать возможные участки обрушений ствола скважины и может использоваться при контроле за техническим состоянием скважин и проектировании горных выработок.

Работа выполнена при финансовой поддержке от Правительства Свердловской области и Российского фонда фундаментальных исследований по проекту РФФИ-Урал № 13-05-96019, а также при поддержке проекта РАН 15-2-5-25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Троянов А.К., Глухих И.И., Вдовин А.Г. Скважинные исследования динамического состояния горных пород с использованием новой аппаратуры // Уральский геофизический вестник. Т.2. Екатеринбург, 2013. С. 4-12.

2. Троянов А.К., Дьяконов Б.П., Мартышко П.С., Астраханцев Ю.Г., Начапкин Н.И., Гаврилов В.А., Белоглазова Н.А. Сейсмоакустическая эмиссия и электромагнитное излучение трещиноватых пород в скважинах // ДАН. 2011. Т. 436. №1. С. 118-120.

THE NEW TECHNOLOGY RESEARCH OF WELLS IN THE REGIME OF CYCLICAL LOGGING

Evgenya Bazenova, Alexey Vdovin

Institute of geophysics Ural Branch of Russian Academy of sciences, Ekaterinburg Bazenova Jena@mail.ru, Agvd@bk.ru

Summary. Presents a new technology research in wells. Shows efficiency of the methodology of the cyclical logging in the study of modern geodynamic setting the investigated area. Given an examples of the use of the cyclical logging in one of the wells in the iron-ore deposit North-Taratashskogo area (Southern Urals).

Key words: cyclical logging, geoacoustic emission, electromagnetic radiation, well

УДК 550.389.1 ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГЕОАКТИВНЫХ ЗОНАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Бакиянов Алексей Иванович ГАГУ, г. Горно-Алтайск absh 04@list.ru

Аннотация. Горный Алтай относится к территориям с высокой сейсмической активностью. В пределах зон сейсмоактивных разломов возникают локальные геофизические и геохимические аномалии, вызывающие широкий спектр ответных реакций биоты. Исследовано площадное распределение геомагнитного поля в зонах активных тектонических разломов, проведены сравнения вариаций индукции геомагнитного поля в пределах геоактивных и геоспокойных зон.

Ключевые слова: Тектонический разлом, магнитные аномалии, магнитные вариации

Активные глубинные разломы литосферы представляют собой системы, проводящие к поверхности потоки вещества и энергии и способные воздействовать на природную среду, население и технические сооружения [1]. Выбранный регион исследования входит в сложную систему самых высоких в Сибири хребтов, разделенных глубокими долинами рек и обширными внутригорными и межгорными котловинами. Изучение активных тектонических разломов данной территории является актуальной геофизической и экологической задачей.

Задачи магнитометрии являются одним из ведущих показателей картирования при изучении влияния изменений геолого-геофизической среды на биологические объекты, поскольку многие горные породы – магнитные, а тектонические разломы – это зоны нарушения сплошности геологической среды. Такое влияние является комплексным, включающим воздействие геофизических полей, эманаций радона и ртути, неоднородности химического состава почвы, природной радиоактивности и др. Как правило, области проявления данных воздействий привязаны к достаточно небольшим областям – локальным участкам в пределах геоактивных зон, связанных с тектоническими разломами. В течение последних пяти лет, во время комплексных исследований влияния геолого-геофизических неоднородностей на биологические объекты в локальных зонах Горного Алтая, нами проводилось выявление и картирование аномалий радиационных и магнитных полей. Исследовались цитогенетические, морфологические и биохимические изменения модельного вида Lonicera caerulea L. (жимолость синяя), цитогенетические эффекты аномалий магнитного поля на проростках семян Hordeum vulgare (ячмень обыкновенный), корневой меристеме Allium сера (лук репчатый). Работа была начата после активизации геофизических и геохимических аномалий в ходе Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. (MS=7.3) [2] и выполняется большим коллективом специалистов в области ботаники, генетики, почвоведения, биохимии, геологии, геоморфологии, геофизики, геохимии, сейсмологии и др. [3,4,5].

Ранние работы по исследованию геомагнитных вариаций в геоактивных зонах Горного Алтая показали наличие локальных высокоамплитудных (сотни нанотесла) вариаций [6]. Причина столь сильных локальных изменений поля являлась предметом дискуссии и требует дальнейших экспериментальных исследований. Нами была предпринята попытка продолжить начатые исследования, но уже на базе современной магнитометрической аппаратуры, при этом работа проводилась в три этапа:

1. Создание пункта непрерывной регистрации геомагнитных вариаций, результаты которого использовались при экспедиционных работах в качестве опорных данных (для исключения псевдослучайных помех, на фоне которых происходят измерения геомагнитного поля [7]).

2. Измерения вариаций полного вектора магнитной индукции и его компонент в геоактивных зонах во время полевых магнитометрических работ.

3. Контроль, сравнение и анализ полученных данных.

Территория Республики Алтай была выбрана для размещения пункта измерения геомагнитных вариаций не случайно, она является спокойной зоной с точки зрения техногенной нагрузки (отсутствие крупных городов, электростанций, железной дороги и т.д.), и на данной территории возможна регистрация данных с очень низким уровнем шумов. При выборе места для расположения цифровой магнитовариационной станции «Кварц-3EM» (разработка ИЗМИРАН) были проведены исследования на 8 объектах Алтайского заповедника, конечным пунктом выбран кордон «Байгазан», расположенный на берегу Телецкого озера [8, 9, 10].

Методы исследований и результаты работ. Исследования проводились в 2009-2014 гг. в Юго-Восточном Алтае (долины рек Курайка, Кубадру, Ак-Туру, Тюте, Кызыл-Ярык, Джазатор, Ак-Алаха и Аргут), в Северо-Западном Алтае (долины рек Окол, Мульта, Урсул, Каракол). При этом, на первом этапе производился выбор ключевых участков на основании оценки тектонически и сейсмически активных территорий, с применением палеосейсмогеологических и геоморфологических методов. Работа выполнялась специалистами-геоморфологами. Для выявления и картирования площадок с локальными магнитными и радиационными полями различной степени неоднородности и вариативности на выбранных ключевых участках проводилась съемка геомагнитного поля в профильном и площадном варианте при помощи мобильного магнитометра MMPOS (разработка лаборатории квантовой магнитометрии УрГФУ), координаты замеров фиксировались при помощи GPS Garmin GPSmap 60, анализ результатов измерений проводился в среде Matlab. Параллельно с магнитометрической съемкой велись измерение мощности эквивалентной дозы (МЭД) с помощью радиометра СРП-68-01 и дозиметра ДБГ-06т, а также регистрация радоновых эманаций с помощью детектораиндикатора радона SIRAD.

Проведенные комплексные исследования показали, что разломные зоны и зоны повышенной трещиноватости в узлах сочленения разломов четко выделяются по изменениям магнитного поля. При этом каждый из исследованных участков характеризуется своим отклонением от фонового значения в ту или иную сторону.

Геомагнитное картирование зон геолого-геофизической неоднородности позволило выявить локализацию геофизических и геохимических аномалий. Многолетний мониторинг показал, что они оказывают выраженное влияние на распределение химических элементов в почве, воздухе и растениях, а также на процессы метаболизма модельных видов. В целом в пределах сейсмоактивных зон Горного Алтая наблюдаются увеличение вариабельности морфологических и биохимических признаков, нарушения в репродуктивной сфере и появление тератных форм (уродства) в растительных популяциях. При этом разнообразие характеристик среды (значений радиационного и магнитного полей, элементного и изотопного состава почв) влечет за собой и различную биохимическую реакцию, что хорошо иллюстрируется изменением элементного и биофлавоноидного составов. Наибольшее усиление процессов метаболизма растений отмечено в узлах сочленения разломов, характеризующихся повышенной трещиноватостью горных пород. Таким образом, отмеченные реакции биоты могут являться одним из доказательств связи геологических эволюционных процессов с мутационноэволюционными процессами, протекающими в биологических системах. Они также могут использоваться и как поисковые признаки активных зон глубинных разломов.

Результаты комплексных работ по геолого-геофизической и биологисеской индикации активных глубинных разломов представляют дополнительные данные о проявлении современной сейсмичности Горного Алтая. Они могут использоваться для разработки комплексных методов прогноза землетрясений и должны учитываться при рекреационном освоении сейсмоактивных горных территорий и размещении техногенных объектов (станций сотовой связи, радиотехнических и навигационных систем авиации и др.).

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ: проект 09-05-98014 р сибирь а; проект мол рф нр 13-05-90769.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология человека в изменяющемся мире // Коллектив авторов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008.

2. Лунина О.В., Гладков А.С., Новиков И.С., Агатова А.Р., Высоцкий Е.М., Еманов А.А. Сейсмогенные деформации и поля напряжений в разломной зоне Чуйского землетрясения 2003 г., Мs=7.5 (Горный Алтай) // Геотектоника. – 2006. № 3. – С. 52-69.

3. Боярских И.Г., Сысо А.И., Худяев С.А., Колотухин С.П., Бакиянов А.И., Шитов А.В., Васильев В.Г., Чанкина О.В. Реакция растений на изменения геофизических и почвенно-геохимических показателей среды в локальных геоактивных зонах Горного Алтая // Система «Планета Земля» Русский путь: Рублев-Ломоносов-Гагарин. – М.:ЛЕНАНД, 2011. – С. 262-281.

4. Боярских И.Г., Сысо А.И., Худяев С.А., Бакиянов А.И., Колотухин С.П., Васильев В.Г., Чанкина О.В. Особенности элементного и биохимического состава Lonicera caerulea L. в локальной геологически активной зоне Катунского хребта (Горный Алтай) // Геофизические процессы и биосфера. – 2012. №3. – С. 5-20.

Боярских И.Г., Сысо А.И., Агатова А.Р., Лучшева Л.Н., Худяев С.А., 5. Элементный Бакиянов А.И. состав почв и метаболизм растений в зонах сейсмоактивных разломов (Курайский хребет, Горный Алтай) // Материалы седьмой международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы И радионуклиды окружающей В среде». Семипалатинский государственный педагогический институт, 4-8 октября 2012 года. – Т. 1. – Семей, 2012. – 492 с.

6. Необычные явления в природе и неоднородный физический вакуум. Серия «Проблемы неоднородного физического вакуума») / А.Н. Дмитриев, В.Л. Дятлов, А.Ю. Гвоздарев. – Новосибирск, Горно-Алтайск, Бийск: БГПУ им. В.М. Шукшина, 2005. – С. 42.

7. Яновский Б.М. Земной магнетизм / Б.М. Яновский. – Л., ЛГУ, 1978. – 592 с.

8. Выбор места для размещения пункта регистрации магнитных вариаций на территории Горного Алтая / А.Ю. Гвоздарев, А.И. Бакиянов, А.А. Бетёв, П.Б. Бородин, С.Ю. Хомутов // Научный вестник Горно-Алтайского государственного университета – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010. – №5. – С. 30-42.

9. Организация непрерывной регистрации магнитных вариаций на станции Байгазан (Телецкое озеро) / А.Ю. Гвоздарев, А.И. Бакиянов, А.А. Бетёв, Е.О. Учайкин, П.Б. Бородин, С.Ю. Хомутов // Научный вестник Республики Алтай. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010. – №4. – С. 31-42.

10. Измерения вариаций геомагнитного поля на магнитной станции Байгазан: база данных / А.Ю. Гвоздарев, Д.В. Кудин, Е.О. Учайкин, С.Ю. Хомутов, Н.Г. Кудрявцев, А.А. Бетёв, А.И. Бакиянов, А.М. Бакчабаев – свидетельство о гос. регистрации №2012621011 от 28.09.2012.

STUDYING OF THE GEOMAGNETIC FIELD IN GEOACTIVE ZONES OF ALTAI REPUBLIC

Bakiyanov Alexey Ivanovich GASU, Gorno-Altaisk absh_04@list.ru

Summary. Mountain Altai treats territories with high seismic activity. Within zones of seismoactive breaks there are local geophysical and geochemical anomalies causing a wide range of responses in a biota. It is investigated vulgar distributions of a geomagnetic field in zones of active tectonic breaks, comparisons of variations of induction of a geomagnetic field within geoactive and geoquiet zones are carried out.

Keywords: Tectonic break, magnetic anomalies, magnetic variations

УДК 550.348

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОТРЯСАЕМОСТИ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Бауэр Андрей Антонович, Миронов Василий Александрович, Шарейко Михаил Александрович СФУ ПИ, г. Красноярск andreyka.bauer@mail.ru, vasya-kun@mail.ru, mixail.sharejko.91@mail.ru

Аннотация. Одной из задач сейсмического микрорайонирования (СМР) является уточнение параметров сейсмических воздействий на площадке строительства и эксплуатации зданий и сооружений в зависимости от местных условий и определение балла сотрясаемости различными геофизическими методами. В данной статье представлен обзор различных геофизических методов определения сотрясаемости площадки строительства промышленного объекта.

Ключевые слова: землетрясение, приращение сотрясаемости, метод преломленных волн, скоростной разрез, метод сейсмических жесткостей

Сила землетрясения на площадке строительства оценивается интенсивностью. Сотрясаемость или интенсивность землетрясения – интегральная мера силы сотрясения грунта, определяемая параметрами движения грунта, степенью разрушения зданий и сооружений, характером изменений земной поверхности, реакцией предметов и данными об испытанных людьми ощущениях. Сотрясаемость измеряется в баллах макросейсмической шкалы и определяется комплексом геофизических методов сейсмическог го микрорайонирования.

Согласно теории распространения упругих волн в безграничном изотропном пространстве могут возникать и распространяться два независимых типа сейсмических

волн. Первый тип волн – продольные сейсмические волны *P* (*prima* – первый) являются наиболее быстрыми и приходят от источника к любой точке наблюдения первыми. Второй тип сейсмических волн называют поперечными или S-волнами (secunda второй).

Скорость продольных волн (V_{P}) больше в 1,4 раза скорости поперечных (V_{s}) волн.

Метод преломленных волн (МПВ) основан на регистрации преломленных упругих волн вдали от источника, скользящих вдоль верхней части слоя геологических образований. При этом большую часть своего пути упругие волны проходят приблизительно горизонтально вдоль границы слоев, в которых скорость их распространения выше по сравнению со скоростью в соседних вышележащих слоях. По времени пробега данных преломленных волн в процессе обработки получают данные о глубинах залегания этих слоев, их форме и, в отдельных случаях, об их литологии.

Сейсморазведочные работы МПВ проводятся по отдельным линиям - сейсморазведочным профилям. На каждом профиле располагаются пункты возбуждения упругих волн, сейсмическая коса, к которой подключаются сейсмоприемники. Отметка начала записи производится путем регистрации колебаний контрольным сейсмоприемником, установленного рядом с пунктом возбуждения [1].

Обработка данных, полученных МПВ, осуществлялась в программном пакете RadExPro. В результате обработки получены скоростные разрезы грунта на исследуемой территории и определены скорости продольных и поперечных волн для каждого слоя. Пример обработки сейсморазведочного профиля и построение скоростного разреза представлен на рисунке (рис. 1).



Рис. 1. Скоростной разрез, полученный при обработке данных МПВ

Результаты обработки представлены в таблице 1. Высокие скорости продольных волн Ир объясняются обводненностью грунтового разреза. В таблице 2 представлена сводная сейсмогеологическая модель площадки с указанием мощности и плотности выделенных слоев, *Vs* – скорости поперечных волн.

Таблица 1

в пределах мостового перехода через р. вольшая желома					
№ИГЭ	Наименование грунта	$V_{_P}$, м/с		$V_{\scriptscriptstyle S}$, м/с	
26	Суглинок легкий пылеватый мягко- пластичной консистенции	194	271	176	208
25	Суглинок легкий пылеватый тугопла- стичной консистенции			170	208
9	Супесь пылеватая пластичной конси- стенции		1974	212	220
25	Суглинок легкий пылеватый тугопла- стичной консистенции	1830		252	274
24	Суглинок легкий пылеватый по- лутвердой консистенции				
49	Порфирит пониженной прочности сильновыветрелый			420	498

Характеристики скоростных слоев по данным МПВ пределах мостового перехода через р. Большая Желома

Таблица 2

Параметры сейсмогеологической площадки мостового перехода через р. Большая Желома

N⁰			Залегание слоя		Плотность	Скорость	
ЮГЭ	Наименование грунта	ОТ	до	<i>h</i> , м	г/см ³	<i>Vs</i> , м/с	
26	Суглинок легкий пылеватый мягкопластичной консистенции	0,4	3	2,6	2,03	176	208
25	Суглинок легкий пылеватый ту- гопластичной консистенции	3	4,8	1,8	1,96	176	208
9	Супесь пылеватая пластичной консистенции	4,8	11	6,2	2,05	212	220
25	Суглинок легкий пылеватый ту- гопластичной консистенции	11	17	5,5	1,96	252	274
24	Суглинок легкий пылеватый полутвердой консистенции	17	20	3,1	2,03	252	274
49	Порфирит пониженной прочно- сти сильновыветрелый	20	22	2,4	2,52	420	498

Метод сейсмических жесткостей применяется для оценки относительных изменений (приращений) сейсмической сотрясаемости. Оценка приращения сотрясаемости и расчет параметров сейсмических воздействий осуществляется при сравнении отношений сейсмических (акустических) жесткостей, представляющих произведение скорости распространения сейсмических волн V на средние значения плотности ρ для изучаемого и эталонного грунта – скального или полускального грунта, на котором спектр колебаний наиболее широкий [2].

Интенсивность рассчитывается формулой:

$$I = I_0 + \Delta I_c + \Delta I_s \tag{1}$$

где I – сейсмическая интенсивность в баллах с учетом местных условий; I_0 – исходная сейсмическая интенсивность в баллах в привязке к скальным эталонным грунтам; ΔI_c – приращение сейсмической интенсивности за счет различия акустических жесткостей грунтов на изучаемом и эталонном участке, ΔI_e – приращения сейсмической интенсивности за счет ухудшения сейсмических свойств при водонасыщении.

Приращение сейсмической интенсивности за счет различия акустических жесткостей грунтов на изучаемом и эталонном участке рассчитывается по формуле:

$$\Delta I_C = 1,67 \cdot \lg \frac{V_{(P,S)_3} \cdot \rho_3}{V_{(P,S)_{H}} \cdot \rho_u},\tag{2}$$

где $V_{(P,S)_3}$ и $V_{(P,S)_{H}}$ – значения скоростей распространения продольных и поперечных волн для расчетной толщи на эталонном и изучаемом участке; ρ_3 и ρ_u – значения плотностей на эталонном и изучаемом участке.

Приращения сейсмической интенсивности за счет ухудшения сейсмических свойств при водонасыщении:

 $\Delta J_{\rm B} = \kappa e^{-0.04 \rm h},$

где *к* – коэффициент, зависящий от литологического состава грунтов, h – расчетное положение уровня подземных вод. Данный коэффициент используется только при расчете по продольным волнам.

В качестве эталонных параметров грунта II категории приняты скорость Vs = 350 м/c, плотность – 1.8 г/cm^3 .

Для сейсмогеологических моделей исследуемой площадки (табл. 2) получены значения приращения ΔJ_c и ΔJ_B (табл. 3).

Таблица 3

(3)

Мощность сеймореализующего слоя	Средневз. плотность	Средневз. скорость	Сейсм. жесткость	ΔJ_C	ΔJ_B	$\Delta J_C + \Delta J_B$
19,2	2,01	228	458,28	0,23	0,48	0,7

Расчетные параметры и приращения по методу сейсмических жесткостей

Таким образом, сотрясаемость на площадках мостовых переходов по методу сейсмических жесткостей составляет 0,7 балла. Учитывая оценки исходной сейсмичности $I_{500} = 7$ (7,4) баллов, $I_{1000} = 8$ (7,9) баллов, итоговые оценки сейсмической опасности на основе метода сейсмических жёсткостей получаются $I_{500} = 8$ (8,1) баллов, $I_{1000} = 9$ (8,6) баллов.

Итоговые оценки сотрясаемости в баллах MSK-64 для исследуемой площадки, соответствующие периоду повторяемости T=500 лет, T=1000 лет, представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Итоговые оценки сотрясаемости для исследуемой площадки. А – для периода повторяемости T = 500 лет, Б – для периода повторяемости T = 1000 лет.

Задача сейсмического микрорайонирования состоит в уточнении параметров сейсмических воздействий на площадке строительства и эксплуатации зданий и сооружений в зависимости от местных условий – грунтовых, геоморфологических, гидрогеологических и геофизических [3].

Это относится к строительству и эксплуатации площадок строительства промышленных объектов, в особенности особо ответственных объектов (ООО). К числу таких объектов относятся атомные электростанции (АЭС), высотные плотины и гидроузлы при них, крупные тепловые электростанции, нефтепроводы, мосты и т.д.

Эксплуатация подобных сооружений связана с повышенной экологической опасностью для населения и окружающей природы. Осознание опасности привело к регламентации деятельности по строительству этих объектов, и соответственно, к проведению комплекса геофизических работ для определения сотрясаемости площадки строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: учебник для вузов. – Тверь: АИС, 2006. – 745 с.

2. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. – М.: ОИФЗ РАН, 2000. – 367 с.

3. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. – М.: Наука, 1988. – 280 с.

DEFINITION EARTHQUAKE SHAKING SITE INDUSTRIAL OBJECTS DIFFERENT GEOPHYSICAL METHODS

Bauer Andrey, Mironov Vasily, Shareiko Michael SFU PI, Krasnoyarsk andreyka.bauer@mail.ru, vasya-kun@mail.ru, mixail.sharejko.91@mail.ru

Summary. One of the tasks of seismic zoning is a refinement of the parameters of seismic effects at the site of the construction and operation of buildings and structures, depending on the local conditions and a score earthquake shaking various geophysical methods. This article provides an overview of various geophysical methods for determining the earthquake shaking of the construction site industrial facility.

Key words: earthquake, increment of earthquake shaking, method of refraction waves, velocity section, method of seismic stiffness.

УДК 556.334 ПОИСК ПРЕСНОЙ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ВЭЗ ЗАПАДНЕЕ ПОС. КУЛТАЕВО ПЕРМСКОГО КРАЯ

Бельков Никита Владимирович ПГНИУ, г. Пермь nikitabelkow@mail.ru

Аннотация. Работы по поиску пресной питьевой воды для населения всегда были актуальны, так как вода остаётся главным полезным ископаемым в жизни человека. В данной статье представлены результаты исследований по выявлению перспективных водоносных горизонтов методом ВЭЗ для бурения скважин для водоснабжения населения загородного поселка.

Ключевые слова: пресная вода, метод ВЭЗ, система программ «ЗОНД»

Возможность применения электроразведки при изысканиях в целях проектирования водоснабжения [3] можно рассматривать с точки зрения решения следующих задач: изучение структур, располагающих к водонакоплению; поиски воды; составление геологического разреза и исследование водонасыщенных горизонтов в скважинах.

Изучение структур, располагающих к водонакоплению. Указанными структурами могут быть мульды, синклинальные впадины и депрессии подземного рельефа, заполненные водоносной породой. Для рационального размещения эксплуатационных скважин в этих случаях необходимо получение предварительных данных, освещающих строение депрессии. Задача заключается в том, чтобы за счёт этих данных уменьшить процент случайности и ставить бурение в точках, отвечающих наиболее низким отметкам водоупора.

Поскольку данные зондирования позволяют устанавливать характер подземного рельефа кровли пород, а, следовательно, и находить наиболее низкие отметки в этом рельефе, строение синклиналей и впадин рельефа водоупора следует определять с помощью электроразведки. Эта задача электроразведкой решается успешно, так как водоносные слои обычно отличаются по сопротивлению от подстилающих пород. Типичные значения сопротивлений водонасыщенных осадочных пород в приповерхностных условиях приведены в табл. 1 [3].

Таблица 1

ипичные значения удельных сопротивлении водонасыщенных осадочных поро,						
Название породы	Значения удельных сопротивлений, Ом·м					
Глина	2-20					
Суглинки	5-40					
Супеси	10-50					
Пески	20-400					
Гравийно-галечниковые отложения	20-300					
Песчаники	40-300					
Мергель	10-40					
Известняк массивный	100-1000					
Известняк трещиноватый	20-100					

Типичные значения удельных сопротивлений водонасыщенных осадочных пород

Данные таблицы показывают, что диапазон колебаний удельных сопротивлений водонасыщенных горных пород достаточен для того, чтобы обеспечивать возможность распознавания их с помощью электроразведки. Широкий диапазон изменяемости удельного сопротивления породы объясняется тем, что это физическое свойство определяется не столько сопротивлением породообразующих минералов, сколько другими факторами, к которым, в первую очередь, относятся пористость, водонасыщенность и, особенно, электрическое сопротивление вод, насыщающих породу. В зависимости от этих факторов разные породы могут обладать одинаковым сопротивлением.

Горные породы в большинстве своём относятся к электролитическим проводникам. Это означает, что они проводят ток постольку, поскольку его проводят насыщающие их растворы. Породы, залегающие ниже уровня грунтовых вод, будучи полностью водонасыщенными, обладают небольшим сопротивлением; те же породы, залегающие над уровнем грунтовых вод, отличаются значительным сопротивлением [3].

Для случая напорных вод маркирующим горизонтом могут быть не подстилающие, а залегающие сверху, над водоносной толщей, породы, например, глины. Кривая ВЭЗ отметит переход от глин к пескам или трещиноватым породам, содержащим воду.

Поиски воды. Непосредственные поиски воды – задача более сложная, чем обследование водоносных структур. Положительные результаты получаются только в условиях простого геологического разреза. Местонахождение подземных вод в твёрдых породах обычно связано с трещиноватостью этих пород. Трещины скальных пород служат коллекторами и путями циркуляции воды. Точно также благоприятные условия для накопления и циркуляции воды создаются в породах, подвергающихся процессам карстообразования. Применение в этих случаях электроразведки при поисках воды тем более ценно, что бурение в твердых породах очень трудоёмко.

Физические предпосылки для поисков воды в трещиноватых породах методами электрометрии заключаются в том, что заполненные водой трещиноватые зоны отличаются пониженными значениями сопротивления по сравнению с вмещающими их монолитными породами. В то время как последние обладают высоким сопротивлением – порядка сотен и тысяч Ом·м, трещиноватые породы, благодаря заполнителю, отличаются невысоким сопротивлением.

Изучение водоносных пород в этом случае может вестись всеми модификациями метода сопротивлений: зондированием, профилированием, в том числе и методом градиента, а также при помощи каротажа. При поисках воды в аллювиальных отложениях электроразведка может быть применена для определения аллювиальной толщи и установления уровня подземных вод. Для этих целей применяется метод зондирования. Объём и характер работ зависит от местных условий. Обычно достаточно задать два поперечника под углом 90° с зондированиями на расстоянии 100-200 м друг от друга [3].

Во время полевых работ (август 2011 г.) была проведена съёмка методом ВЭЗ для поиска пресной питьевой воды на участке в 2 км западнее пос. Култаево Пермского района Пермского края (рис. 1).

Пермский район расположен в основном в пределах Камской гидрогеологической области (III³) [1], это обширная область занимает территорию западной части Предуралья, южнее широтного отрезка р. Камы. Она сложена терригенными фациально-невыдержанными толщами мезозоя и верхней перми. В целях водоснабжения здесь можно бурить скважины и устраивать каптаж источников, менее перспективна проходка колодцев. Эксплуатационный ресурс 0,1-0,8 л/сек с 1 км². В Камской гидрогеологической области широко распространены грунтовые воды аллювиальных отложений и шешминского терригенного комплекса. В районе исследования основным водоносным комплексом является шешминский. Его особенность – очень неравномерная загипсованность пород. В одном и том же населенном пункте могут быть воды разной степени минерализации (от 0,3-0,4 до 5-8 г/л). Характерно также быстрое увеличение минерализации с глубиной.



Шешминский водоносный комплекс ($P_2 \check{s}\check{s}$) приурочен к шешминскому горизонту уфимского яруса. Шешминские отложения представлены песчаниками на карбонатно-глинистом цементе, алевролитами, глинами, реже линзами мергелей, известняков и конгломератов. Общая мощность шешминского горизонта 230-270 м. Водоносны трещиноватые песчаники, алевролиты, мергели, реже известняки. Водоупорны глины, реже трещиноватые разности песчаников и известняков.

В верхней части шешминского горизонта, не перекрытой казанскими отложениями, циркулируют безнапорные трещинно-грунтовые воды. Глубина их залегания от 1,0 до 25 м, чаще 4-9 м. Трещинно-пластовые воды развиты ниже. В местах выхода на поверхность шешминских отложений, они залегают на глубинах от 7 до 140 м, а где их перекрывают более молодые отложения до 400-500 м.

Мощность водонасыщенной части пород неодинакова: для трещинно-грунтовых вод от 0,5 до 5,8 м, для трещинно-пластовых – от 1,5 до 41 м, в редких случаях до 50-70 м. Водообильность комплекса неравномерна и зависит от литологического состава водовмещающих пород и степени их трещиноватости. Дебит скважин, вскрывающих трещинно-грунтовые воды, невелик – обычно десятые доли литра в секунду.

Эксплуатационные дебиты скважин, вскрывающих трещинно-пластовые воды, имеют значения, от 0,1 до 43,6 л/сек (наиболее характерны 0,8-2,5 л/сек), удельные дебиты 0,02-2 л/сек (характерные 0,3-0,5 л/сек).

Для шешминского комплекса модуль эксплуатационных ресурсов колеблется в основном от 0,1 до 0,6 л/сек с 1 км². Трещинно-грунтовые воды иногда загрязняются (трещинно-пластовые – значительно меньше), о чём свидетельствует повышенное количество в них аммиака и нитратов. Основным источником питания шешминского водоносного комплекса служат атмосферные осадки. Направление движения вод – от водораздела к рекам.

На исследуемой территории было разбито 6 профилей. Расположение профилей выбиралось вкрест предполагаемого направления движения подземных вод. Расстояние между профилями составляло от 100 до 140 м, шаг между точками ВЭЗ – 100 м. Работы проводились симметричной четырехэлектродной установкой с величиной шага приращения разносов питающей линии $p = r_{j+1}/r_j = 1.25$ [2]. Максимальный разнос питающей линии AB измерительной установки был равен 400 м. При выполнении зондирования для поддержания измеряемой разности потенциалов в необходимых пределах были использованы две приемных линии MN длиной 1 и 10 м. В общей сложности отработано 23 точки электрического зондирования. Измерения выполнялись аппаратурой АНЧ-3. Обработка результатов полевых измерений проводилась в системе программ «ЗОНД» [2, 4].



Рис. 2. Результаты количественной интерпретации параметрического зондирования по скв. 1

По результатам интерпретации ВЭЗ была выявлена зона низких кажущихся сопротивлений, приуроченная к водоносным песчаникам.

Качественная интерпретация, представленная в виде разрезов, карт, полей и тела кажущегося сопротивления, наглядно выявила перспективные зоны для бурения скважин. По результатам количественной обработки кривых ВЭЗ на основе статистического анализа были определены мощности и УЭС геоэлектрических слоев. Даны рекомендации к разбуриванию низкоомной зоны, залегающей на глубинах порядка 30-50 м в точке ВЭЗ 20 (скв. 1) и 30-40 м в точке ВЭЗ 13 (скв. 2) (см. рис. 1).

После бурения скважин и вскрытия водоносных песчаников была проведена стабилизация на основе параметрического зондирования (рис. 2), позволившая увязать кривые зондирования с литологией пород и, тем самым, уточнить мощности и УЭС выделенных слоев. Были построены карты УЭС, карты минерализации по кровлям и подошвам водоносных песчаников, а также структурные карты по всем выделенным слоям. Уровень воды в скважинах, дебит и литологический разрез указаны в геологотехнических разрезах скважин. В обеих скважинах была отобрана вода на химический анализ. В скважине 2 химический анализ воды подтвердил её пригодность использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Согласно результату анализа проба воды (СНТ Култаево, участок 48) соответствует требованиям СанПиН и ГН. Жесткость данной пробы воды в пределах ПДК. Содержание основных катионов и анионов находятся в пределах санитарных норм. В скважине 1 обнаружено превышение ПДК по общей жесткости и мутности воды. В связи, с чем воду из этой скважины можно употреблять для хозяйственных нужд, а после устранения мутности и жесткости посредством фильтров, воду можно использовать для питьевых нужд.

Таким образом, поставленная цель – поиск воды необходимого качества и количества, для снабжения питьевой водой участков, решена с применением метода вертикального электрического зондирования, подтверждена результатами бурения и химическим анализом воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Пресные подземные воды Пермской области. – Пермское книжное издательство, 1973. – 198 с.

2. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. – М: Научный мир, 2007. – 248 с.

3. Горелик А.М., Сахарова М.П. Применение электроразведки при инженерногеологических изысканиях на железных дорогах (инженерная электроразведка). – М: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1951. – 158 с.

4. Обработка и интерпретация результатов полевых наблюдений в программе ЗОНД. Краткое руководство [Электронный ресурс]. – 37 с. – Режим доступа: http://www.permgeo.ru/download/Brief Manual ZOND.pdf

THE SEARCH FOR FRESH WATER WITH THE EMPLOYMENT OF VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING METHOD WEST OF KULTAEVO SETTLEMENT PERMSKY KRAY

Belkov Nikita PSU, Perm nikitabelkow@mail.ru

Summary. The search for the fresh water for the population has always been urgent since water is a major mineral resource in the life of a human being. The given article presents the research results on finding out worth-while water-bearing horizons using the Vertical Electric Sounding method for drilling boreholes (wells) for water supply of rural population.

Keywords: the fresh water, the Vertical Electric Sounding method, the system of programmers «ZOND»

УДК 550.380 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КГО «КАРЫМШИНА», КАМЧАТКА

Берсенёва Наталья Юрьевна

КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский nata@emsd.ru

Аннотация. КФ ГС РАН проводит геомагнитные наблюдения в частотном диапазоне 0.003-40 Гц на комплексной геофизической обсерватории КГО «Карымшина» с использованием магнитометра-вариометра. В работе приводится характеристика созданного программного обеспечения для автоматизации первичной обработки и накопления геомагнитных данных в режиме близком к реальному времени с оценкой их качества и пригодности для поиска сигналов подготовки сильных землетрясений.

Ключевые слова: индукционный магнитометр, геомагнитные наблюдения, автоматизация, Python

Введение

Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) проводит с 1999 г. геомагнитные наблюдения с использованием трехкомпонентного магнитометравариометра, установленного на комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина» (52.827° с.ш., 158.132° в.д.) [2].

В совместных работах сотрудников КФ ГС РАН и Института физики Земли РАН [3-7] рассматривались методы поиска электромагнитных предвестников землетрясений в диапазоне частот 0.003-40 Гц с использованием данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина». Предполагалось производить идентификацию предвестников землетрясений в ограниченных частотно-временных окнах, близ частот Шумановского резонанса, основным источником которого является мировая грозовая активность. Предполагалось, что локальные источники ультранизкочастотных колебаний магнитного поля появляются в эпицентральной зоне на последней стадии подготовки землетрясения и непосредственно после его реализации. В [3-7] было показано, что применение оригинальной методики анализа магнитных данных может существенно повышать вероятность предсказания землетрясений с М≥5.0 в диапазоне глубин Н≤50 км на эпицентральных расстояниях R≤300 км.

Оборудование

Магнитометр-вариометр включает в себя три идентичных по конструкции индукционных датчика поля. Для подавления сейсмических, ветровых, акустических и других видов помех датчики помещены в бетонный бокс, наполненный сухим песком. Датчики горизонтальных компонент H и D ориентированы вдоль магнитного меридиана и трансверсально к нему. Датчик Z регистрирует вертикальную компоненту геомагнитного поля.

Датчики соединены с модулем АЦП кабелем длиной около 100 м. В качестве АЦП с 2011 г. используется регистратор GSR-24. Динамический диапазон регистрируемых сигналов составляет более 90 дБ при частоте дискретизации 100 Гц.

Система сбора и обработки данных

16 октября 2013 г. сотрудниками отдела информационных технологий КФ ГС РАН была запущена система передачи геомагнитных данных по Internet на приемный центр в г. Петропавловске-Камчатском, обеспечивающая их поступление в режиме ре-

ального времени. Аналоговый сигнал от магнитометра по кабельной линии передается на АЦП, где оцифровывается с частотой 100 Гц. Далее по каналу Wi-Fi данные передаются на стационар КГО «Карымшина», где они временно хранятся на кольцевом буфере обмена, и затем передаются по каналам Internet на приемный центр КФ ГС РАН. Данные передаются и хранятся на буфере обмена в формате MSEED.

Одной из задач оператора, обеспечивающего первичную обработку и анализ данных геомагнитных наблюдений, является контроль их качества и пригодности для выделения сигналов подготовки землетрясений. При доступе к данным в режиме реального времени важное значение имеет автоматизация процесса получения и первичной обработки больших массивов данных в форме временных рядов в целях экономии рабочего времени и устранения возможных субъективных ошибок в работе оператора.

В пакет программ, обеспечивающих автоматизацию работы оператора, входят созданные автором программы, написанные на свободно распространяемом интерпретируемом языке программирования Python 2.7 (*.py), сценарии командной строки Windows (*.bat), а также сторонние консольные программы (*.exe). Каждая часть пакета программ решает определенный круг задач (рис. 1).



Рис. 1. Области применения пакета программ

Ежедневно, после автоматического запуска компьютера, закачиваются последние данные при наличии связи с буфером обмена КГО «Карымшина». Они хранятся в архиве в форматах MSEED и ASCII. Преимуществом формата ASCII является то, что данные могут быть импортированы в большинство программ по обработке сигналов и массивов данных. Поэтому дальнейшая предварительная обработка данных производится только в формате ASCII. Создаются полные суточные файлы геомагнитных данных по каждому каналу с удалением перекрытий и заполнением пропусков.

Далее осуществляется построение волновых форм вариаций магнитного сигнала по трем каналам, их дисперсий, а также динамических среднесуточных спектров. По графикам и спектрам определяются состояние и работоспособность каналов, выделяются участки данных, на которые следует обратить особое внимание при дальнейшей обработке. Результаты обработки данных архивируются и отправляются по e-mail оператору и заинтересованным пользователям. При наличии подключения к сети Internet с использованием электронной почты можно осуществлять просмотр и оценку состояния геомагнитных данных в режиме, близком к реальному времени, дистанционно, находясь не только на Камчатке, но и в др. городах России и мира.

На основе просмотра и анализа суточных графиков и др. материалов, оператором строятся сводные таблицы состояния геомагнитных данных. В таблицах представляются данные по работоспособности трех каналов магнитометра и заключения по пригодности данных наблюдений для дальнейшей обработки. В примечаниях к таблицам и в сносках отображаются сведения, характеризующие особенности регистрации и записей.

Текущее состояние геомагнитных данных

В течение некоторого времени на всех трех каналах проявлялись значительные помехи, которые маскировали полезный сигнал. Особенно отчетливо они прослеживались в динамических спектрах (рис. 2). Использование фильтрации для удаления помехи оказалось неэффективным. Но после замены импульсного стабилизатора питания на линейный помехи подобного рода перестали регистрироваться (рис. 2б).



Рис. 2. Динамические спектры сигнала магнитометра с импульсным стабилизатором питания (а) и с линейным стабилизатором питания (б).

На рис. 3 представлены секундные, минутные и часовые записи по трем каналам магнитометра, а также динамические спектры секундных записей. Наиболее интенсивные помехи присутствуют на канале Z, но по методике, описанной в работах [3-7], информативными в целях прогноза сейсмических событий являются только горизонтальные каналы.

В спектрах магнитных данных хорошо выделяются гармоники Шумановского резонанса (~8, 14, 20.5 Гц), источником которых является активность мировых центров гроз. В спектрах часовых данных выделяется суточная составляющая с периодом 24 ч. Поиск аномалий, связанных с процессами подготовки сильных землетрясений, может проводиться с учетом выявленных составляющих в изменениях магнитного поля Земли.



Рис. 3. 1-секундные (черные), 1-минутные (серые) и среднечасовые (белые) вариации магнитного поля, записанного на трех каналах индукционного магнитометра, и динамические спектры 1-секундных записей. Стрелками указаны моменты наиболее сильных землетрясений (http://www.emsd.ru).

Заключение

С использованием созданного пакета мини-программ производится ежедневный автоматический прием и первичная обработка данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина», а также контроль больших массивов данных геомагнитных наблюдений в режиме, близком к реальному времени.

На следующих этапах работы планируется опробование ранее предложенных методик обработки данных геомагнитных наблюдений [3-7] в целях оперативной диагностики признаков подготовки землетрясений и оценки их сейсмопрогностической информативности.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.-м.н. Копыловой Г.Н. за постановку работы, сотрудникам КФ ГС РАН Смирнову А.А. за обеспечение работы магнитометра, Сероветникову С.С., Махмудову Е.Р. и Иванову В.В. за помощь в написании пакета программ; Щекотову А.Ю. (ИФЗ РАН, г. Москва) за помощь в обработке и интерпретации геомагнитных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берсенёва Н.Ю. Автоматизация обработки данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина», Камчатка // Исследования в области наук о Земле. XII Региональная молодежная научная конференция, 25 ноября 2014 г. Под ред. Селиверстова Н.И. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 2014. – С. 85-94.

2. Берсенёва Н.Ю., Копылова Г.Н. Электромагнитные наблюдения КФ ГС РАН в Камчатском сейсмоактивном регионе // Тезисы докладов IV международного

симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», 23-29 июня 2014. – Бишкек, 2014. – С. 173-175.

3. Haykawa M., Schekotov A.Y., Fedorov E.N., Hobara Y. On the Ultra-Low_Frequency magnetic field depression for three huge oceanic earthquakes in Japan and in the Kurile Islands // Earth Science Reseach. -2013. - T.1. No 2. - C. 33-40.

4. Molchanov O., Schekotov A., Fedorov E. et all. Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka // Natural hazard and Earth system science. $-2003. - N_{2}3-4. - C. 203-209.$

5. Schekotov A.Y., Molchanov O.A., Hattory K. et all. Seismo-ionispheric depression of the ULF geomagnetic fluctuations at Kamchatka and Japan // Phys. Chem. EARTH. -2006. N \ge 31. - C. 313-318.

6. Shekotov A.Y., Molcanov O.A., Fedorov E.N. et all. ULF/ELF magnetic field variations from atmosphere induced by seismicity // Radio Science. – 2007. №42. – C. 1-13.

7. Schekotov A.Y., Molchanov O.A., Chebrov V.N. et all. About possibility to locate an EQ epicenter using parametrs of ELF/ULF preseismic emission // Natural hazard and Earth system science. -2008. No. -C. 1237-1242.

AUTOMATED SYSTEM OF GEOMAGNETIC OBSERVATIONS AT OBSERVATORY «KARYMSHINA», KAMCHATKA

Bersenyeva Natalya Yuryevna

Kamchatka Branch of the Geophysical Survey RAS nata@emsd.ru

Abstract. KF GS Russian Academy of Sciences makes geomagnetic observations in the frequency range of 0.003-40 Hz on complex geophysical observatory «Karymshina» with using the magnetometer variometer. There are the characteristic of the created software for automation of preprocessing and accumulation of geomagnetic data in the mode close to real time and assessment of their quality and suitability for search of signals of preparation of strong earthquakes in work.

Keywords: induction magnetometer, geomagnetic observations, automation, Python

УДК 550.34.04.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТНОЙ КАРТЫ УРОВНЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ

Варлашова Юлия Викторовна

ГИ УрО РАН, г. Пермь ivanova@mi-perm.ru

Аннотация. При плановом развитии сети сейсмических станций большое значение имеют прогнозные карты сейсмических шумов. Построение теоретической карты дает возможность формализовать выбор места для сейсмической станции, выявить реальное влияние источников шума, рекомендовать рациональное размещение объекта, позволяющее ослабить или полностью ликвидировать влияние основных источников шума.

Ключевые слова: микросейсмический шум, сейсмическая станция, спектр мощности, расчетная карта

Одним из требований при установке сейсмической станции является ее размещение в месте с низким уровнем микросейсмических шумов. По требованиям к установке приборов необходимо выбрать место на коренных породах с заглублением, с целью уменьшения влияния ветровых помех. Также важна избирательная чувствительность определенных мест расположения станций по регистрации сигналов из интересующих регионов. Процесс выбора мест для сейсмический станции – это сложное и длительное по времени проведения мероприятие.

Нам был проведен обзор и анализ литературных источников на предмет обобщения опыта выбора мест расположения сейсмических станций, наиболее эффективных для регистрации [1]. На наш взгляд, в приведенных исследованиях список источников следует дополнить некоторыми видами источников, которые следует учитывать при размещении сейсмических станций (ГЭС, ГРЭС, АЭС, ТЭЦ и т.д.), также не для всех грунтов применимы рекомендованные удаления. В связи с интенсивным ростом городов, инфраструктуры и транспортной сети и постоянно растущей на нее нагрузкой подобные рекомендации могут быть неактуальными.

Порой продолжительные измерения микросейсмического фона доступны на ограниченном количестве пунктов наблюдения. В таких случаях даже кратковременные замеры намного лучше, чем их полное отсутствие. Хотя они и не могут дать полную информацию об уровнях шума, но необходимы для выявления техногенных источников шума и оценки суточных колебаний шума в диапазоне частот регистрации локальных, региональных и телесейсмических событий.

Результаты измерений микросейсмического фона в отдельном пункте, как правило, представляют в виде спектра (набора спектров) мощности микроколебаний (рис. 1). Для удобства сравнения их строят совместно с двумя модельными уровнями шумов Петерсона [3] – верхним NHNM (New High Noise Model) и нижним NLNM (New Low Noise Model).

Как можно видеть из рисунка 1, уровень шумов на разных частотах отличается. Если имеется серия таких спектров, полученная на разных удалениях от какого либо техногенного источника, то по ним можно оценить удаление, при котором амплитуда колебаний станет сопоставимой со средним фоновым уровнем микросейсм. При схожих грунтовых условиях это можно экстраполировать на обширную территорию.

Для техногенных источников шума можно оценить удаление, при котором амплитуда колебаний от такого источника станет сопоставимой со средним фоновым уровнем микросейсм. При одинаковом геологическом строении это можно экстраполировать на общирную территорию.

В течение многих лет на территории Пермского края проводятся измерения микросейсмических шумов. За период наблюдений собран большой объем фактического материала, который позволил составить базу данных о характере природных и техногенных источниках шумов. Данные в базе содержат информацию об источниках шумов, удалении от них, исходные сейсмические записи и рассчитанные спектры мощности смещений. Все это позволяет анализировать характер пространственного распространения уровня шумов в произвольном диапазоне частот (рис. 2).



Рис. 1. Пример спектрального представления уровня шумов

Информация по всем измерениям обобщена в виде, удобном для прогнозирования уровня шумов в произвольной точке пространства, а именно, каждый источник характеризуется определенным максимальным уровнем шумов – среднеквадратической амплитудой в заданном диапазоне частот и характерным затуханием волн, обусловленным преобладанием того или иного типа волн (табл. 1). При этом уже не имеет значения, каким оборудованием ведется регистрация сейсмических записей, важно знать лишь частотный диапазон целевых сигналов. Расчет минимальных расстояний в метрах при этом в первом приближении можно вести с помощью зависимости

$$R_{\min} = \sqrt[\beta]{A_0 / A_N} \,. \tag{1}$$

Из табл. 1 видно, что многие источники генерируют как объемные, так и поверхностные волны, что отражается на промежуточных между 0.5 и 1 значениях β . В то же время некоторые источники указывают на преобладающий вклад объемных волн ($\beta \approx 1$), что вполне резонно, поскольку поверхностные волны, распространяясь по более рыхлым грунтам, все же затухают быстрее. Также видно, что из всех представленных источников наибольший уровень шума создает железная дорога. Примерно на порядок ей уступает шум, создаваемый падением воды и работой турбин гидроэлектростанции. В целом расчетные минимальные расстояния, при которых уровень шумов достигает фоновых значений (~1 мкм), согласуются со значениями, представленными в [2].



Рис. 2. Пример распространения шумов в окрестностях ГЭС

Таблица 1

Источник шумов	Среднеквадр А ₀	β		
	0.1 – 2 Гц	1 – 10 Гц	5-40 Гц	
Железная дорога	3193	1182	2020	1.02
Гидроэлектростанция	222	100	224	0.77
Автомагистраль	93	108	50	1.00
Проселочная дорога	6.2	6.1	2.1	0.71
Магистральный газопровод	47	5.1	0.2	0.83

Характеристики основных источников микросейсмических шумов

Для целей выбора мест размещения региональных станций имеет значение диапазон короткопериодных колебаний (1 – 10 Гц). Исходя из среднего затухания таких волн от конкретных источников, нами в качестве примера были рассчитаны карты амплитуд микросейсмических шумов в районе Пермской градопромышленной агломерации. На рис. За. приведена карта, рассчитанная на основании исходных полевых данных, полученных в нескольких районах исследуемой территории. На рис. Зб. представлена аналогичная карта с уровнем шумов, рассчитанным с учетом фактического расположения источников шумов и согласно полученным эмпирическим зависимостям пространственного затухания шумов.

При расчете карты на рис. 3. использовалась разработанная в лаборатории природной и техногенной сейсмичности (автор Шулаков Д.Ю.) программа «NoiseMap», использующая модельные характеристики источников и параметры затухания волн из табл. 1. В качестве исходных данных используются координаты источников: для точечных объектов – координаты центров, для линейных – координаты точек излома, для площадных объектов – координаты точек излома внешних границ объекта. Считается, что источником шумов для линейных объектов является каждая точка этого объекта, при этом шаг между соседними точками выбирается согласно выбранного масштаба карты [1].

Аналогично для площадных объектов считается, что источником является каждая точка пространства в пределах границ этого объекта, при этом шаг между соседними точками также выбирается согласно выбранного масштаба карты.



Рис. 3. Карты среднего уровня микросейсмических шумов на территории Пермской градопромышленной агломерации в полосе 0.5 – 10 Гц

(а – карта, рассчитанная на основании полевых наблюдений, б – теоретическая карта с учетом фактического расположения источников шумов)

Таким образом, построение расчетной карты уровня микросейсмических шумов дает возможность формализовать выбор места для сейсмической станции, выявить реальное влияние источников шума, рекомендовать рациональное размещение пункта будущих наблюдений, где регистрация полезных волн будет наиболее информативной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз уровня микросейсмических шумов с целью выбора оптимального расположения сейсмической станции. Ю.В. Варлашова, Д.Ю. Шулаков // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы Восьмой сейсмологической школы. ГС РАН. – Обнинск, 2013. – С. 85–88.

2. Manual of Seismological Observatory Practice: Report SE-20 / Ed. P.L. Willmore. – World Data Center A for Solid Earth Geophysics. – Boulder, Colorado. –September 1979. – 165 p.

3. Peterson, J. Observation and modeling of seismic background noise: Open-File Report 93-322. Geological Survey / J. Peterson. – U.S. Department of Interior. – 1993. – 91 p.

THE CHOICE OF THE OPTIMAL LOCATION OF SEISMIC STATIONS WITH CONTROL OF PAYMENT CARDS OF THE LEVEL OF MICROSEISMIC NOISE

Varlashova Julia Victorovna MI UB RAS, Perm ivanova@mi-perm.ru

Summary. With the planned development of a network of seismic stations are important prognostic maps of seismic noise. Building a theoretical card allows to formalize the choice of seismic stations, to identify the real impact of noise

sources to recommend the rational distribution of the object, allowing reduced or completely eliminate the influence of the main sources of noise. **Key words:** microseismic noise, seismic station, power spectrum, payment card.

УДК 550.832 О РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИТОСФЕРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Вдовин Алексей Геннадьевич

ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург agvd@bk.ru

Аннотация. Приведены результаты измерений электромагнитного излучения в скважинах Северо-Тараташского и Восточно-Тарутинского железорудных месторождениях. Показана связь сигналов электромагнитной эмиссии с данными магнитной восприимчивости на участках массивного оруденения.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, каротаж, магнитная восприимчивость, железорудное месторождение

Магнетитовые руды являются сырьевой базой отечественной черной металлургии. Основой геофизических исследований на железорудных месторождениях являются магнитные методы. Для подсечения скважинной рудного тела служит измерение магнитной восприимчивости. Привлечение нетрадиционных методов геофизических исследований может дать не только дополнительную информацию, но и существенно повысить изученность массива горных пород. Одним из таких методов может выступать измерение электромагнитного излучения (ЭМИ).

В процессе разрушения горных пород происходит излучение электромагнитных импульсов расходящимися берегами трещин. ЭМИ в приповерхностных породах зависит от многих факторов и должно определяться для конкретных условий. Данные породы характеризуется малой прочностью и высокой пластичностью, которые существенно зависят от внешних факторов. Благодаря этим свойствам даже низкие напряжения в таких средах вызывают появление хорошо регистрируемых сигналов ЭМИ.

Поскольку литосфера является сложной слоисто-блоковой моделью, все деформационные явления происходят в переходных между блоками ослабленных зонах, и поведение вещества этих зон изменяется от одной стадии лавинно-неустойчивого трещинообразования к другой [2]. Граница раздела двух сред "руда – вмещающая порода" и является своего рода такой зоной. Следовательно, учитывая высокую электропроводность магнетита, можно предположить, что на контактах и вне рудного тела уровень ЭМИ будет отличаться по амплитуде от железорудного слоя.

Для измерений использовалась аппаратура МЭШ-42 [1], разработанная в Институте геофизики УрО РАН. Данная аппаратура позволяет регистрировать электромагнитные сигналы на частотах 45 кГц (F45), 70 кГц (F70) и 120 кГц (F120).



Рис. 1. Фрагмент комплексных исследований на Северо-Тараташском железорудном месторождении (Южный Урал): а) в скважине №1; б) в скважине №2

В рамках исследования были проведены измерения в скважинах, пробуренных на Северо-Тараташском железорудном месторождении (Южный Урал). На рис. 1а представлен геолого-геофизический разрез по скважине №1 и результаты геофизических исследований. По геологическим данным рудное тело представлено кварцитами с магнетитовым оруденением, а вмещающие породы – кварцитами, габбро и диабазами. В интервале глубин 288-376 м по диаграмме магнитной восприимчивости рудное тело отбивается четкой интенсивной аномалией. Исходя из данных каппометрии, верхняя часть оруденения, до глубины 328 м, довольно неоднородна по составу, а нижняя (328-376 м) представлена плотным массивным оруденением. Кривая магнитной восприимчивости совпадает с кривой электромагнитного излучения (F70), по которой рудное тело четко выделяется аномальными значениями, и при этом коэффициент корреляции равен -0.78, что говорит о высокой связи измеренных значений. По диаграмме ЭМИ на частоте 45 кГц на глубинах 288, 320 и 375 м уверенно отмечаются контакты вмещающих пород с рудным телом, т.е. на отмеченных глубинах происходят процессы, связанные с микроразрушением пород.

Измерения, проведенные в скважине №2, находящейся на одном профиле со скважиной №1, показали аналогичные результаты (см. рис. 1). По данным скважинной магнитометрии выделяются небольшие участки магнетитовой вкрапленности и один узкий пласт мощностью 1 м массивного оруденения на глубине 423 м. Анализ измеренных параметров показал, что электромагнитное излучение изменяется только на участках массивных руд, никак не проявляясь при этом в зонах вкрапленности магнитных минералов. Так, в скважине №1, даже маломощный пласт массивной руды выделяется по значениям F70.



Рис. 2. Результаты комплексных исследований магнитной восприимчивости и электромагнитного излучения в скважине на Восточно-Тарутинском месторождении

В скважине на Восточно-Тарутинском месторождении, был проведен каротаж ЭМИ и каппометрии (рис. 2). По геологическим данным, в интервале 85-113 м залегают слои массивного оруденения. Следует отметить достаточно высокое сходство кривых каппометрии и ЭМИ, что указывает на корреляцию полученных данных в скарнмагнетитовом оруденении. По измерениям электромагнитного излучения на частоте 45 кГц достаточно отчетливо выделяются интервалы, соответствующие оруденению. Некоторое снижение разрешающей способности ЭМИ по сравнению с данными каротажа магнитной восприимчивости, прежде всего, связано с различным шагом наблюдения. Каротаж электромагнитного излучения проводился с шагом 1 м, а значения каппы измерялись с дискретностью 0,1 м.

Отражение в полученных данных основных черт геологического строения железорудных месторождений убедительно свидетельствует о литосферном происхождении регистрируемого излучения. Подтверждением неслучайности изменения регистрируемого ЭМИ является высокое сходство наблюдаемых результатов, полученных в различных по геологическому строению месторождениях.

Рассматривая механизмы генерации и распространения ЭМИ с точки зрения естественного явления литосферного происхождения, можно предположить, что основным объяснением возникновения электромагнитного излучения является флуктуационно-диссипативная теорема статической физики, смысл которой заключается в том, что механизм любого рассеивания (диссипации) является одновременно и механизмом рождения колебания (флуктуации). Т.е. в системе (геосреде) существует баланс, за счет которого флуктуации никогда не исчезают. Работа выполнена при финансовой поддержке от Правительства Свердловской области и Российского фонда фундаментальных исследований по проекту РФФИ-Урал № 13-05-96019, а также при поддержке проекта РАН 15-2-5-25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Троянов А.К. Аппаратурно-програмный комплекс для скважинных исследований напряженнодеформированного состояния среды // НТВ Каротажник. №239. 2014. С. 39-51.

2. Левшенко В.Т. Сверхнизкочастотная электромагнитная эмиссия литосферного происхождения. Автореферат диссертации доктора физ.-мат. наук. М.: ОИФЗ, 1995.

ABOUT REGISTRATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF THE LITHOSPHERIC ORIGIN ON IRON ORE DEPOSITS

Alexey Vdovin

Institute of Geophysics, The Ural Branch of Russian Academy of Science, Ekaterinburg agvd@bk.ru

Summary. Shows the results of measurements electromagnetic emussion in wells North-Taratashskogo and East-Tarutino iron-ore deposits. Illustrates the relationship of signals electromagnetic emission with data of magnetic susceptibility in the areas of massive mineralization.

Key words: electromagnetic radiation, logging, magnetic susceptibility, ironore deposit

УДК 622.83; 551.21.3 БАЗА ДАННЫХ О ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ведерников Андрей Сергеевич, Мельник Виталий Вячеславович ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург avedernikov@igduran.ru

Аннотация. В статье приводится информация о создаваемой геоинформационной системе, состоящей из результатов проведения оценки геодинамических движений и ее использования.

Ключевые слова. геодинамика, геодинамические движения, геоинформационная система, прогноз, деформации массива, спутниковая геодезия, современная геодинамическая активность, недропользование

Безопасность объектов недропользования, уровень риска возникновения катастроф при их строительстве и эксплуатации зависят от соответствия их конструкций свойствам массива горных пород, процессам и явлениям, протекающим в естественных условиях и в областях техногенной деятельности.

Процессы вторичного структурирования, определяющие блочно-иерархическую структуру массива горных пород, происходят как в естественных условиях, так и в об-

ластях техногенного воздействия объектов недропользования, и относятся к важнейшим факторам, формирующим дискретный характер напряженно-деформированного состояния [1].

В пассивном, неподвижном массиве горных пород проявления деструкции и самоорганизации исключаются. Для их реализации необходимо изменение напряженнодеформированного состояния, источником которых в естественных условиях выступают современные геодинамические движения.

Таким образом, массив горных пород представляет собой иерархическиблочную среду, в которой под воздействием современных геодинамических движений формируется неоднородное, напряженно-деформированное состояние с дискретным распределением напряжений и деформаций за счет межблочных подвижек.

Информация о современной геодинамической активности регионов должна являться основополагающим материалом при выборе конструкций и мест строительства сооружений, особенно ответственных.

Аналитические исследования показали, что геодинамические параметры в различных регионах сильно различаются по величине, а формирование очагов катастрофических событий приурочено к максимальным значениям параметров современной геодинамической активности.

Зачастую такая подвижность приводит к заметным изменениям целостности массива горных пород и земной поверхности, что в свою очередь может повлечь нарушение функционирования объектов инженерной инфраструктуры. Для того чтобы спрогнозировать подобные явления как при эксплуатации объектов недропользования, так и при их проектировании и строительстве, необходимы натурные измерения активности геодинамических движений с использованием как традиционных, так и спутниковых методов геодезических исследований [2].

Отдел геомеханики института горного дела УрО РАН на протяжении последних 15 лет занимается исследованием современной геодинамической активности на различных объектах горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов, а также атомной промышленности.

По мере накопления экспериментальных данных возникла необходимость их систематизации. Определение параметров трендовых и цикличных современных геодинамических движений выполнено более чем на 25 объектах недропользования, охватывающих территорию России и Казахстана от Центрального региона до Якутии. На их основе в 2013 году была создана, а в 2014 году зарегистрирована «База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений» [3]. Из нее следует, что современные геодинамические движения имеют место во многих регионах, независимо от того, к сейсмичной или асейсмичной категории они относятся.

В настоящее время представленные в базе данных объекты достаточно разрозненны в географическом плане, и пока не представляется возможным создание надежного математического аппарата для прогнозирования геодинамической ситуации на значительных площадях. Однако представленная база данных уже может быть использована для предварительной оценки некоторых региональных областей, для которых имеется необходимый объем сведений о текущей геодинамической ситуации. В процессе наполнения база данных была преобразована из сугубо табличной в географическую с использованием распространенных пакетов создания ГИС (ArcGIS, QGIS и др.). Фрагмент карты из БД приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Фрагмент карты с нанесенными значениями измеренных параметров геодинамических движений (по четыре столбца слева направо – максимальные горизонтальные движения, максимальные вертикальные движения, максимальные горизонтальные деформации, максимальные вертикальные деформации соответственно)

Так, например, самые большие из представленных на рисунке 1 значения горизонтальных и вертикальных трендовых (длиннопериодных) движений (160 и 110 мм соответственно) были зарегистрированы при исследованиях по поиску площадки для проектируемого строительства Южно-Уральской АЭС. Рассмотрение распределения отдельных значений по площади позволило забраковать первоначально выбранное место расположения АЭС и по дополнительным результатам геофизических исследований определить наиболее безопасный участок обследуемой площади.

Помимо построения региональных карт для более детальной оценки геодинамического состояния по каждому объекту производится построение локального распределения интересующих параметров. Пример такого распределения для территории вокруг Коркинского угольного разреза приведен на рисунке 2.

В случае проектируемых к строительству зданий и сооружений построение таких карт распределения геодинамических параметров поможет при определении необходимости и объемов проведения дополнительных геофизических [4, 5], геодезических и др. работ.

В научном плане результаты наблюдений, приведенные в базе данных, могут быть использованы для углубления современных представлений о формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях естественно го залегания и в областях техногенного воздействия.



Рис. 2. Схема распределения горизонтальных деформаций в плане (треугольниками отмечены геодезические пункты).

В производственной сфере результаты научно-исследовательских работ, собранные, обобщенные и проанализированные в рамках создаваемой геоинформационной системы, могут использоваться на следующих видах объектов природопользования для обеспечения их безопасного строительства и эксплуатации:

- объекты градопромышленных агломераций;
- объекты минерально-сырьевого комплекса и атомной промышленности;
- инженерные коммуникации и объекты транспортной инфраструктуры;
- высотные и другие сооружения повышенной ответственности.

В настоящее время ведутся работы по пополнению базы данных новыми участками, кроме того планируется добавление дополнительных модулей с данными по структурно-тектоническому строению исследованных территорий, с геологическими и гидрогеологическими условиями и другой информацией, позволяющей наиболее достоверно оценивать состояние площадки строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

В законченном виде созданная «База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений», включающая в себя информацию о величинах трендовых и цикличных геодинамических движений, должна использоваться в качестве прогностического аппарата, подобного картам ОСР, поскольку природа этих явлений одинаковая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усанов С.В., Мельник В.В., Замятин А.Л. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения // ФТПРПИ. – 2013. – № 6. – С.83-89.

2. Пустуев А.Л. Исследование трендовых геодинамических деформаций при выборе площадок для строительства атомных станций // Горный информационноаналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 1. – С. 282-290.

3. База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений. – Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2014620345. – 2014.

4. Зуев П.И., Ведерников А.С., Григорьев Д.В. Геофизическая диагностика состояния массива горных пород зоны комбинированной разработки Гороблагодатского же-

лезорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S11. – С. 114-121.

5. Замятин А.Л. Экспериментальные исследования состояния массива горных пород на объектах недропользования [Текст] // Сетевое периодическое научное издание «Проблемы недропользования» – 2014. – №2 – С. 29-33.

THE DATABASE OF THE GEODYNAMIC MOVEMENTS AS A TOOL TO JUSTIFY THE SAFE CONSTRUCTION AND OPERATION OF ENGINEERING STRUCTURES

Vedernikov Andrey, Melnik Vitaly

Institute of mining of the Ural branch of RAS avedernikov@igduran.ru

Abstract: text shows an information about development and use of GIS that consist of experimental data of surveys of modern geodynamic activity. **Keywords:** geodynamics, geodynamic movements, GIS, forecast, rock massive deformation, satellite geodesy, modern geodynamic activity, subsurface use.

УДК 622.235.53, 624.042.7 О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

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

Аннотация. Важным фактором, влияющим на величину сейсмического воздействия при производстве буровзрывных работ, являются грунтовые условия. Для большей достоверности количественную оценку эффекта усиления необходимо выполнять комплексом описанных в статье способов. Помимо этого, важным является совместное исследование резонансных характеристик зданий и грунтов.

Ключевые слова: массовый взрыв, сейсмическое воздействие, грунтовые условия, карьер, рудник, сейсмически безопасные расстояния.

Результаты изучения сейсмического воздействия буровзрывных работ (БВР) на разных объектах подтверждают необходимость проведения полевых натурных измерений взрывов для конкретных геологических и горнотехнических условий. Полученная в итоге величина сейсмически безопасных расстояний может значительно отличаться от рассчитанной по формуле из нормативного документа [3], которая пригодна только для первичной грубой оценки. Безусловно, основными параметрами, влияющими на амплитуду сейсмической волны, являются расстояние до источника и масса заряда, но важно также учитывать характеристики самих взрывов (направленность, корректность работы системы инициирования и др), и тем более грунтовые условия в точках наблюдений. Под грунтовыми условиями в данной работе понимается совокупность геоморфологических, литологических, гидрогеологических и физико-механических характе-
ристик, влияющих на амплитуду и частотный состав приходящей сейсмической волны. В сейсмологии данное явление широко известно под названием "site effect" [9]. Важность, а также необходимость изучения и учета грунтовых условий при оценке сейсмического воздействия буровзрывных работ отмечается как в нормативной документации [4,6], так и в научной литературе [7]. В общем случае различие интенсивности колебаний на грунтах разного состава объясняется их физическими свойствами, объективно влияющими на амплитуду и частоту сейсмических волн. Прежде всего, это плотность пород и скорость распространения волн. Известно, что амплитуда колебаний в среде обратно пропорциональна величине любого из этих параметров, в связи с чем на более плотных коренных породах здания и сооружения страдают значительно меньше, чем на рыхлых и менее плотных [5]. Вместе с этим изменение интенсивности сейсмических колебаний на земной поверхности в значительной мере обусловлено гидрогеологическими условиями, в частности, глубиной залегания грунтовых вод, степенью влажности самих грунтов и мощностью водонасыщенной толщи [5]. То есть благоприятными в сейсмическом отношении являются ненарушенные плотные скальные породы. А водонасыщенные и мягкие грунты, наоборот, способны увеличивать сейсмический эффект.

На производстве при проектировании БВР используют способ расчета безопасных расстояний, который описан в последней редакции «Правил безопасности при взрывных работах» [6]. В большинстве случаев практическое значение имеет оценка сейсмического эффекта от короткозамедленных взрывов и неодновременного взрывания группы зарядов. При неодновременном взрывании N зарядов взрывчатых веществ общей массой Q_{Σ} со временем замедления между взрывами каждого заряда не менее 20 мс сейсмически безопасное расстояние r_c может быть рассчитано по формуле [6]:

$$r_{c} = K_{c} K_{c} K_{e} N^{-1/4} Q_{\Sigma}^{1/3}, \qquad (1)$$

где K_c – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения), может принимать значения от 5 для скальных до 20 для водонасыщенных грунтов; K_c – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки, изменяется в диапазоне от 1 для железобетонных промышленных сооружений до 2 для небольших поселков; K_s – коэффициент, зависящий от условий взрывания, принимает значения от 0,5 для полууглубленных зарядов до 1 для камуфлетного взрыва. Используя формулу (1) можно определить, что безопасные расстояния, посчитанные для разных грунтов, изменяются в несколько раз.

В 2008 году введен в действие ГОСТ Р 52892-2007 [4], определяющий максимально допустимые вибрации, в том числе от сейсмических воздействий при массовых промышленных взрывах. Оценка воздействий в соответствии с указанным документом базируется на риске появления повреждений конструкций, способных снизить их эксплуатационную надежность, и предназначена для зданий, рассчитанных на статические нагрузки без предъявления специальных требований в отношении сопротивления к действию динамических сил. Предельное значение скорости V_{don} при кратковременной вибрации определяют для вертикальной составляющей пикового значения скорости по формуле [4]:

$$V_{\partial on} = V_0 F_g F_b F_d F_k, \text{MM/c}, \tag{2}$$

где V_0 – опорное значение скорости, равное 20 мм/с; F_g – поправка на вид грунта в месте, где установлено сооружение, может принимать значения от 0.5 для очень мягких грунтов и мягких глин до 3.5 для скальных очень плотных пород; F_b – поправка на вид сооружения, изменяется в диапазоне от 0.25 до 2; F_d – поправка на расстояние между источником вибрации и местом ее измерения, принимает значения от 0.5 до 1; F_k – поправка на вид источника вибрации, принимает значения от 0.8 до 1. Подставляя раз-

личные значения поправок на вид грунта в формулу (2), можно определить, что допустимые нагрузки для разных видов грунтов изменяются также в несколько раз.

Необходимо сказать, что при изучении сейсмического воздействия взрывов большое значение имеет совместная оценка резонансных характеристик грунтов и зданий. В работе [1] приведен пример, когда в двухэтажном здании возникли многочисленные характерные трещины при многократном воздействии взрывов, хотя скорость колебаний грунта не превышала 0.1 см/с. Было установлено, что в этом случае период собственных колебании здания совпал с периодом вынуждающих колебаний, обусловленным резонансными характеристиками грунтов и спектром взрывных воздействий.

На практике для количественной оценки эффекта усиления приходящих снизу горизонтальных колебаний применимы 4 способа:

1) способ расчета усилений по отклонениям фактических амплитуд от ожидаемых;

2) стандартный способ сейсмического микрорайонирования, основанный на синхронной записи микросейсм на опорном и исследуемом грунтах [5];

3) способ, основанный на получении скоростного разреза в приповерхностной толще сейсмическими методами с последующим аналитическим расчетом спектральных характеристик грунтов;

4) способ Накамуры [8], базирующийся на расчете H/V-спектров по 3-компонентным записям микросейсмических колебаний.

Способ расчета усилений по отклонениям фактических амплитуд от ожидаемых.

В основе лежит предложенный ранее подход [3] с использованием опорной сейсмической станции. Напомним, что зависимость скорости смещений грунта *A* определяется формулой:

$$A = a \cdot R_{\Pi P}^{-0} , \qquad (3)$$

где *а* и *b* – эмпирические коэффициенты, а $R_{\Pi P}$ – приведенное расстояние, рассчитанное по формуле:

$$R_{\Pi P} = R \cdot N^{1/4} \cdot Q_{\Sigma}^{-1/3}, \tag{4}$$

где R – расстояние до места взрыва, Q_{Σ} – суммарная масса заряда, N – количество ступеней замедления.

Скорость убывания амплитуды волны с расстоянием определяется величиной коэффициента b, задача определения которого по серии взрывов осложняется тем, что фактическая величина сейсмического воздействия взрыва в каждом отдельном случае зависит от ряда случайных или трудноучитываемых факторов, таких как степень трещиноватости взрываемого блока, качество забойки, направленность излучения сейсмической волны, точность работы системы инициирования и прочее. С целью минимизации влияния этих факторов при проведении измерений желательно использовать записи взрывов на опорной сейсмической станции. Для каждого измерения выполняется расчет отношений приведенных расстояний и измеренных амплитуд к таковым на опорных точках. Полученные зависимости нормированных амплитуд от нормированных расстояний позволяют с высокой достоверностью определить значения коэффициента b. Таким образом, избавившись от влияния факторов, определяемых источником, можно сказать, что разброс нормированных значений от аппроксимирующей функции (рис. 1), главным образом будет зависеть от грунтовых условий.



Рис. 1. Зависимость нормированных амплитуд от нормированных расстояний

Количественно оценить фактические усиления на исследуемых пунктах можно по формуле:

$$Y_{\phi a \kappa m} = \frac{A_u}{A_o} \frac{1}{a} \left(\frac{R^o{}_{np}}{R^u{}_{np}} \right)^{-b}, \qquad (5)$$

где A_u и A_o – максимальные амплитуды на исследуемой и опорной точке, , R^{u}_{np} и R^{o}_{np} – приведенные расстояния до исследуемой и опорной точки, соответственно. Данный способ позволяет выявить особенности и объяснить неравномерность распределения уровня сейсмического воздействия взрывов на исследуемой территории.

Способ сейсмического микрорайонирования. Метод регистрации микросейсм.

В практике сейсмического микрорайонирования данный метод обычно применяется в качестве вспомогательного в комплексе с другими инструментальными методами оценки резонансных характеристик грунтов. Особенностью данного подхода является синхронная запись микросейсм на опорном и исследуемом грунтах. Отношение спектральных амплитуд для данных записей пропорционально приращению интенсивности ($Y_{смр}$) на исследуемом грунте [5]:

$$Y_{cmp} = \frac{A\max_{u}}{A\max_{o}} \tag{6}$$

где $A \max_u u A \max_o$ – максимальные амплитуды микроколебаний на исследуемом грунте и грунте на опорной точке с эталонными грунтами. Анализ результатов, полученных с использованием такого подхода, позволяет сделать вывод, что стандартный способ оценки грунтовых усилений может давать существенные искажения в области средних и коротких периодов, если измерения микросейсмического фона производятся в области влияния локальных помех (в частности, на урбанизированных территориях). Наименее подверженным влиянию техногенных факторов является диапазон длиннопериодных колебаний [2].

Сейсмические методы изучения скоростного строения с последующим аналитическим расчетом спектральных характеристик грунтов. Один из методов изучения скоростного строения верхней толщи массива на глубину до 30 м – SASW (Spectral Analysis of Surface Waves – спектральный анализ поверхностных волн). Принципиальная схема данного подхода включает следующие этапы:

- проведение микросейсмических измерений на интересующем объекте;

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

- восстановление по дисперсионным кривым скоростного разреза поперечных волн;

Далее полученные скоростные разрезы в комплексе с данными о плотностях, в свою очередь, служат основой для расчета спектральных характеристик грунтов с помощью пакетов Shake, DeepSoil или аналогичных. Такие исследования позволяют выявить особенности резонансных характеристик грунтов и далее сопоставить их с резонансами зданий.

Способ Накамуры заключается в расчете отношений спектральных амплитуд колебаний, полученных в горизонтальной плоскости, к соответствующим амплитудам на спектре вертикальных колебаний. Основой для таких оценок также служат обычные трехкомпонентные измерения микросейсмического фона. В своих теоретических построениях Накамура делает предположение и показывает на множестве примеров, что вертикальные колебания подвержены влиянию грунтовых условий незначительно, за исключением случая прохождения волн от источников поверхностного происхождения [8]. Таким образом, функция отношения спектров горизонтально- и вертикально- поляризованных колебаний будет описывать усиление грунтов при прохождении объемных волн:

$$R_{HVi} = \frac{S_{Hi}}{S_{Vi}},\tag{7}$$

где S_{Hi} и S_{Vi} – спектры горизонтальных и вертикальных колебаний на исследуемом грунте.

Способ Накамуры хорош тем, что исключает требование к синхронности измерений микросейсм на исследуемых грунтах и грунтах на опорном пункте. Однако имеющиеся в теории допущения и предположения ограничивают его использование, делая его полезным только совместно с другими методами.

Выводы.

Опыт проведения работ в области оценки сейсмического воздействия позволяет сделать вывод, что для учета и объяснения неравномерности распределения сейсмического воздействия по изучаемой территории необходимо учитывать влияние грунтовых условий. Количественную оценку эффекта усиления грунтов для большей достоверности необходимо выполнять комплексом вышеописанных способов. Также необходимым является совместное исследование резонансных характеристик зданий и грунтов, поскольку за счет попадания собственных частот зданий в область резонансного усиления сейсмических воздействий, обусловленных грунтовыми условиями, изучаемые объекты могут испытывать дополнительные динамические нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богацкий В.Ф., Фридман А.Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. - М.: Недра, 1982. – 162 с.

2. Верхоланцев А.В. Влияние локальных факторов на результаты сейсмического микрорайонирования // Седьмая Международная научно-практическая конференция-конкурс "ГЕОФИЗИКА-2009". Санкт-Петербург: СПбГУ, ЕАGO, 2009. С. 118-119.

3. Верхоланцев, А.В. Оценка сейсмического влияния буровзрывных работ на поверхностные здания и сооружения / А.В. Верхоланцев, Д.Ю. Шулаков // Геофизика, 2014, №4. С. 40-45.

4. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – М.: 2007.- 32 с.

5. Дягилев Р.А. Микросейсмическое районирование: учеб.-метод. пособие / Р.А. Дягилев, Д.А. Маловичко; Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2007. – 120 с.

6.Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила
безопасности при взрывных работах". Режим доступа:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_161521/, свободный. – Загл. с экрана.7.Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Физические проблемы взрывного разрушения мас-
сивов горных пород. Сб.тр. международной научной конференции, Москва, 7-11.09
1998 г., 257 с.

8. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface / Y. Nakamura // QR RTRI, vol. 30. – 1989. – P. 25-33.

9. Kramer S.L. Geotechnical earthquake engineering. - Prentice Hall, New Jersey, 1996. - 653 pp.

THE IMPORTANCE OF SOIL PROPERTIES FOR ANALYSES OF THE SEISMIC IMPACT OF BLASTING

Verkholantsev Aleksandr MI UB RAS vercholancev@gmail.com

Summary. An important factor affecting the seismic impact during blasting is the soil properties. To improve the quantitative analysis of the seismic impact it is required to follow the techniques described in this article. Also, it is important to perform a complex study of the resonance parameters of buildings and soil.

Key words: bulk explosion, seismic load, site effect, open pit, mine, seismically safe distance.

УДК 553.98:553.041:552.578:550.8.05

РАЙОНИРОВАНИЕ НИЖНЕЮРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО КОМПЛЕКСА УСТЬ-ТЫМСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ НА ОСНОВЕ ПАЛЕОТЕМПЕРАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И КАРТИРОВАНИЯ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ

Власова Алена Вячеславовна, Пракойо Феликс Санто НИ ТПУ, г. Томск avv11@tpu.ru, felix.santo@yahoo.com

Аннотация. Построены карты суммарных толщин коллекторов нижнеюрских резервуаров – пластов Ю₁₅ и Ю₁₆. Проанализировано распределение плотности генерированных нефтей, полученное на основе картирова-

ния по геотемпературному критерию палеоочагов генерации в тогурских отложениях. Построены карты распределения относительной плотности аккумулированных ресурсов.

Ключевые слова: нижнеюрские резервуары, плотность ресурсов нефтей, Усть-Тымская мегавпадина

Введение.

В Усть-Тымской депрессионной зоне (рис. 1А) распространены тогурская и баженовская нефтегенерирующие толщи и, при наличии резервуаров, определяют ее перспективность.



Рис. 1. Обзорная схема территории исследования (А) на основе [4] и схематическая карта распределения плотности генерированных тогурских нефтей [3], значения изолиний в условных единицах (Б): *1* – месторождения: *а*) нефтяное, *б*) газовое, *в*) газоконденсатное; границы тектонических элементов: *2* – I порядка, *3* – II порядка и номер структуры; *4* – речная сеть; *5* – скважина палеотемпературного моделирования; *6* – граница зоны распространения тогурской свиты; *7* – контур построения карт.

На рис.1А оконтурены структуры II порядка: 1 – Неготский мезопрогиб, 2 – Пыжинский мезопрогиб, 3 – Сампатский мезопрогиб, 4 – Зайкинская мезоседловина, 5 – Караминская мезоседловина, 6 – Шингинская мезоседловина, 7 – Пудинское мезоподнятие, 8 – Трайгородский мезовал. Нижнеюрские нефтепроизводящие породы тогурской свиты являются источником углеводородов (УВ) для среднеюрского, нижнеюрского и палеозойского нефтегазоносных комплексов (НГК). Тогурская свита распространена в центральных и восточных частях мегавпадины и в Северо-Парабельской мегамоноклинали, а также заливообразно – в северной и юго-восточной части Парабельского мегавыступа.

Ранее методом палеотемпературного моделирования [1] разрезов 10-ти представительных скважин (рис. 1А) и картирования по геотепературному критерию [2] палеоочагов генерации нефти (рис. 2) выполнена оценка относительной плотности генерированных тогурских нефтей Усть-Тымской мегавпадины и структур её обрамления – рис. 1Б [3].



Рис. 2. Схематические карты распределения геотемператур (значения изолиний в °С) и положения очагов генерации тогурских нефтей [3]. Остальные условные те же, что на рис. 1.

Цель настоящих исследований – определить и предложить первоочередные районы для изучения и освоения нижнеюрских резервуаров для непосредственно контактирующих с тогурской свитой пластов Ю₁₅ и Ю₁₆, с учетом латеральной дифференциации мощностей резервуаров.

Характеристика объекта исследований.

С использованием работы [5] и данных бурения глубоких скважин нами обобщено (откартировано) развитие нижнеюрских пластов-коллекторов Ю₁₆ и Ю₁₅ Усть-Тымской мегавпадины и обрамляющих ее положительных структур (рис. 3).

Наибольшие толщины *пласта* W_{16} наблюдаются в северном врезе Неготского мезопрогиба. В южном и восточном направлении от центра мегавпадины его мощность значительно уменьшается. Пласт W_{16} практически перекрывается тогурской свитой, за исключением участков на северо-восточном борту мегавпадины, в центральной части Зайкинской мезоседловины, на северном склоне Парабельского мегавыступа и прилегающей части Северо-Парабельской мегамоноклинали.



Рис. 3. Схематические карты распространения и толщин пласта Ю₁₆ (А) и пласта Ю₁₅ (Б) в Усть-Тымской мегавпадине: *1* – граница распространения [5] и изопахиты пласта;

2 – скважины, использованные для построения карт: в числителе условный индекс, в знаменателе – мощность пласта. Остальные условные те же, что на рис. 1

Пласт Ю₁₅ имеет большее площадное распространение и практически перекрывает нижележащую тогурскую свиту. В южной части Пыжинского мезопрогиба, на восточных склонах Парабельского мегавыступа и локально на северном борту Усть-Тымской мегавпадины подстилающие толщи тогура не зафиксированы.

Оценка распределения плотности ресурсов тогурских нефтей в пластах Ю₁₆ и Ю₁₅ и районирование нижнеюрских резервуаров.

Используя распределение значений плотности генерированных тогурских нефтей (рис. 1Б) и распределение значений толщин пластов-коллекторов, методом интерполяции построены схематические карты распределения относительной плотности ресурсов тогурских нефтей в пластах Ю₁₆ и Ю₁₅ (рис. 4). Проведено районирование нижнеюрских резервуаров по степени перспективности (рис. 5). Ранжирование районов (зон) выполнено с учетом значений плотности аккумулированных ресурсов и площади зоны.



Рис. 4. Схематические карты распределения плотности ресурсов тогурских нефтей в пласте Ю₁₆(А) и пласте Ю₁₅ (Б) Усть-Тымской мегавпадины: *1* – изолинии значений плотности ресурсов, условные единицы; *2* – зоны выклинивания тогурских отложений в пределах распространения пласта; *3* – зона отсутствия оценки плотности генерированных тогурских нефтей. Остальные условные те же, что на рис. 1



Рис. 5. Схемы районирования нижнеюрских резервуаров – пласта Ю₁₆ (А) и пласта Ю₁₅ (Б) Усть-Тымской мегавпадины. К рисунку А: *1–3* – районы (номер ранжирования; диапазон значений плотности ресурсов, усл. ед.): *1* – больше 20, *2* – меньше 20, *3* – ресурсы не оценены. К рисунку Б: *4–6* – районы (номер ранжирования; диапазон значений плотности ресурсов, усл. ед.): *4* – больше 30, *5* – меньше 30, *6* – ресурсы не оценены; *7* – граница зон. Остальные условные те же, что на рис. 1

Заключение.

Проведенные исследования и их результаты демонстрируют актуальность данных геотермии при прогнозировании нефтегазоносности. Актуальность состоит в том, что на начальном этапе исследований по геотемпературному критерию определены очаги генерации нефти [3], т.е. решена концептуальная задача о «главном источнике» УВ [6], определяющая эффективность стратегии поисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Исаев В.И., Лобова Г.А., Рояк М.Э., Фомин А.Н. Нефтегазоносность центральной части Югорского свода // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31. – № 2. – С. 15–46.
 Бурштейн Л.М., Жидкова Л.В., Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1070–1078.

3. Лобова Г.А. Нефтегазоносность Усть-Тымской мегавпадины // Геофизический журнал. – 2013. – Т. 35. – № 4 – С. 28 – 39.

4. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 253 с.

5. Лифанов В.А. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности нижнеюрских базальных горизонтов юго-востока Западной Сибири // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО. Том 1. – Ханты-Мансийск: «ИздатНаукСервис», 2012. – С. 252–257.

6. Исаев В.И., Лобова Г.А., Коржов Ю.В., Кузина М.Я., Кудряшова Л.К., Сунгурова О.Г. Стратегия и основы технологии поисков углеводородов в доюрском основании Западной Сибири. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 112 с.

THE RESERVOIR ZONING OF THE JURASSIC OIL-AND-GAS COMPLEX OF THE UST-TYM MEGADEPRESSION BASED ON THE PALEOTEMPERATURE MODELING OF SOURCE DEPOSITS AND MAPPING OF THE COLLECTOR LAYER

Vlasova Alena Vyacheslavovna, Prokoyo Felix Santo

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk avv11@tpu.ru, felix.santo@yahoo.com

Abstract. Maps of total thickness of the Lower Jurassic reservoir tanks – layers J_{15} and J_{16} – are plotted. Distribution density of generated oils, derived from mapping paleocenters of generation of Togur deposits by geotemperature criterion, is analyzed. Maps of distribution of relative density of accumulated resources are plotted.

Key words: Lower Jurassic reservoir, density of resources oils, Ust-Tym megadepression

УДК 550.34 МОНИТОРИНГ ДРОБНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АКТИВИЗИРОВАННЫХ СТРУКТУР

Гладков Владимир Николаевич АСФ ГС СО РАН, г. Новосибирск Vladimirngladkov@gmail.com

Аннотация. Значения параметра сейсмической дробности γ (при использовании магнитудной шкалы – b-значение) широко используется для характеристики сейсмического процесса. Одним из основных свойств этого параметра является его непостоянство в пространстве. Более того, пространственные вариации данного параметра несут информацию о состоянии среды. В данной статье представлены результаты исследования закономерностей развития сейсмического процесса в пространстве на примере Алтае-Саянской области.

Ключевые слова: закон повторяемости землетрясений, сейсмический режим, параметр дробности

Введение. Если воспроизвести на экране дисплея карту одного из сейсмоактивных районов, а затем в виде вспышек разной яркости, соответствующей силе землетрясений, показывать последние в той очередности, в какой они следуют в каталоге, зритель увидит довольно хаотическую картину, в которой можно уловить лишь одну закономерность: чем вспышки ярче, тем они реже. Это наблюдение лежит в основе закона повторяемости землетрясений: в совокупности сейсмических событий, чем события значительней, тем они реже.

Большинство методов сейсмологического мониторинга основывается прямо или косвенно на законе повторяемости землетрясений. Как, например, картирование значений γ (угла наклона графика повторяемости) по пространству. А если быть точнее, то можно сказать, что сейсмологический мониторинг строится на обнаружении временно возникающих аномальных отклонений от закона повторяемости [2].

(1)

Исследование основных параметров сейсмического режима имеет большое значение для познания свойств сейсмического процесса. Особенно важно выявление закономерных изменений этих параметров в зависимости от геологических структур района, что имеет весьма большое значение для обоснования методов сейсморайонирования, а также для предсказания места и времени сильного землетрясения, поскольку сейсмический режим зависит прежде всего от геологических особенностей района. Исследование значений параметра γ проводилось для землетрясений, наблюдавшихся сетью экспедиционных сейсмических станций в 2003 г. на территории, ограниченной координатами $\varphi = 49°70' - 50°80'$ с.ш., $\lambda = 87°40' - 88°40'$ в.д., когда имеются весьма полные данные обо всех землетрясениях с $K = 4\div13$ энергетических классов (K = lg(E)).

Целью данной работы является изучение закономерностей развития сейсмического процесса в пространстве на примере Алтае-Саянской области. Для достижения цели были выполнены такие задачи, как выбор алгоритма для расчета параметра дробности у и построение карт параметра сейсмической дробности.

Закон повторяемости землетрясений. Закон повторяемости обычно записывается в следующей форме:

 $\lg(N) = A - \gamma \lg(E)),$

где γ – параметр дробности (тангенс угла наклона графика повторяемости), A – сейсмическая активность (число событий выбранной энергии), N – общее число событий в каталоге, E – сейсмическая энергия.

Закон повторяемости землетрясений (степенное распределение землетрясений по энергии) – наиболее отчетливая закономерность сейсмического режима. В своей классической формулировке закон повторяемости характеризует вероятность возникновения землетрясения определенной силы (магнитуды, энергетического класса) в выбранной области пространства за единицу времени.

Параметр дробности у и методы его расчета. Наклон графика повторяемости у (или *b*-значение при использовании в качестве характеристики величины землетрясения магнитуды) является одной из основных характеристик сейсмического режима.

Параметр γ в определенном смысле является характеристикой среды, генерирующей землетрясения: если значение γ велико, т.е. относительно много слабых землетрясений, значит среда более раздроблена; если γ мала, т.е. наблюдается относительное преобладание сильных землетрясений, значит среда в некотором смысле более однородна, а степень ее раздробленности меньше [1].

Параметр дробности рассчитывается следующими способами:

1) Метод наименьших квадратов (когда минимизируется ордината):

$$\gamma = \frac{N \sum \log(n_i K_i) - \sum \log(n_i) \sum K_i}{N \sum (K_i)^2 - (\sum K_i)^2},$$
(2)

где N – общее число землетрясений; n_i – число землетрясений, соответствующее K_i -му классу.

2) Метод наибольшего правдоподобия [3]:

$$\gamma = \lg(e) \frac{1}{N \sum_{i}^{N} \frac{K_{i}}{N} - K_{0}},$$
(3)

где *K_i* – энергетический класс i-го из N землетрясений, *K*₀ – минимальный энергетический класс, соответствующий нижнему уровню надежной регистрации землетрясений.

3) Метод наименьших квадратов (сокращенная главная ось – минимизируется не ордината или абцисса, а расстояние от точки до аппроксимирующей прямой. Точка здесь соответствует числу землетрясений в выбранном интервале энергий):

$$v = \sqrt{\frac{N\sum(\lg(n_i))^2 - (\sum \lg(n_i))^2}{N\sum(K_i)^2 - (\sum K_i)^2}},$$
(4)

4) Формула, для расчета значения *b* [4]:

$$b = \frac{1}{\Delta M} \lg(p) \tag{5}$$

$$Sb = \frac{1-p}{\ln(10)\Delta M \sqrt{Np}}$$
(6)
$$p = 1 + \frac{\Delta M}{\mu - M_{nop}},$$
(7)

где μ – среднее значение магнитуды по каталогу или по выборке из каталога, N – количество событий в каталоге, ΔM – удвоенная абсолютная величина неточности определения магнитуды, M_{nop} – представительность каталога землетрясений, b – дробность каталога сейсмических событий, Sb – стандартное отклонение b.

При определении параметра у использовался метод наибольшего правдоподобия.

Общие принципы методов картирования. Общие принципы методов картирования следующие. Рассматриваемая область разбивается на равномерную (обычно прямоугольную) и достаточно частую сетку. Вокруг каждого узла сетки строится площадка осреднения. Землетрясения, которые попадают в рамки этой площадки, используются для расчета искомого параметра. При картировании можно выделить два момента, определяющие выбор методики и, в конечном счете, результат:

1) Способ, которым выполняется разделение исходного планшета на площадки осреднения (площадки с перекрытием, без перекрытия, постоянного размера, переменного размера, прямоугольные, круговые и т.д.);

2) Способ, которым рассчитывается искомый параметр. В первую очередь это относится к дробности.

Анализ временных вариаций сейсмичности, в первую очередь основных параметров сейсмического режима перед сильным землетрясением, – один из перспективных походов к поискам сейсмологических предвестников. Кроме того, знание этих параметров дает базис – нулевой уровень отсчета при анализе афтершоков сильного землетрясения.

Алгоритм для расчета параметра дробности и построение карт дробности были реализованы с помощью пакета МАТLAB. На рис. 1 представлен пример карты параметра сейсмической дробности, который рассчитывался методом наибольшего правдоподобия.



Рис. 1. Карта параметра сейсмической дробности Алтае-Саянского региона, построенная по каталогу за 2003 г.

Обсуждение результатов. На рисунке 1 представлена карта параметра дробности, который рассчитывался по методу наибольшего правдоподобия, где по оси абсцисс отложена долгота, по оси ординат – широта, а шкала справа соответствует различным значениям параметра сейсмической дробности.

На карте (см. рис. 1) можно увидеть области повышенных значений, которые характеризуются средними значениями параметра дробности γ =0.6–0.7, доходящими до γ =0.9. Данная область приурочена к территории Чуйско-Курайской зоны. Высокие значения γ объясняются тем, что на территории Горного Алтая в 2003 г. было зарегистрировано около 35610 событий, среди которых можно выделить так называемое Чуйское землетрясение с магнитудой главного толчка 7.3. Области пониженных значений (γ =0.1–0.2) сосредоточены в основном по краям карты. Среднее значение рассчитанного параметра дробности составляет примерно 0.4–0.5, что соответствует среднему значению данного параметра для Алтае-Саянского региона.

Выводы:

1) Параметр сейсмической дробности у для данного региона является не постоянным, а изменяется пространстве.

2) Исследуемый параметр сейсмического режима зависит от геологических структур региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. – М.: Академкнига, 2003. – 372 с.

2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Селезнев В.С., Филина А.Г. Поиск подходов к сейсмологическому мониторингу Алтае-Саянской складчатой области // Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий. Материалы международной геофизической конференции. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2000. – С. 81–85.

3. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 11-17 октября 2009 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. – 392 с.

4. Татевосян Р.В. Структурные неоднородности среды и формирование макросейсмического поля: Рачинское землетрясение 29.04.1991 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2013. N 2. – С. 59–67.

MONITORING OF A SEISMIC PROCESS'S FRACTIONALITY OF ACTIVATED STRUCTURES

Vladimir Gladkov ASB GS SB RAS, Novosibirsk Vladimirngladkov@gmail.com

Summary. The parameter's values of a seismic fractionality γ (using magnitude scale – b-value) is widely used to characterize the seismic process. One key feature of this parameter is its variability in space. Moreover, the spatial variation of this parameter contain information about the state of the medium. This article presents the results of investigation of the laws spread of the seismic process in space on the example of the Altai-Sayan region.

Key words: law of earthquake recurrence, seismic regime, parameter of a fractionality

УДК 550.8.04 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕНЗОРНОЙ СЪЕМКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРТОГОНАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ СРЕДИННОГО ГРАДИЕНТА

Глотов Алексей Анатольевич, Кропотина Ксения Константиновна ПГНИУ, г. Пермь lik5611@gmail.com, ksu240594@mail.ru

Аннотация. Тензорная съемка, предложенная венгерскими коллегами, выступает эффективным инструментом решения многих инженерных задач геофизики. Математический аппарат обработки данных позволяет детально локализовать объекты с учетом трехмерности исследуемых сред. В данной статье представлена методика съемки, методы обработки данных и практическая апробация тензорной съемки при использовании ортогональной установки срединного градиента на примере заказника Предуралье, с целью изучения неоднородностей и анизотропных свойств пород вблизи русла реки Сылва.

Ключевые слова: тензорная съемка, срединный градиент, ортогональная установка, инженерная геофизика, анизотропия, инварианты

На сегодняшний день решение многих инженерных геофизических задач требует повышенной детальности съемок. Целью работ в данных исследованиях все чаще выступают археологические изыскания, контроль над эксплуатацией инженерных сооружений, экологический контроль, выявление и прогнозирование зон образования карста, оползня и.т.д.

В целом, объекты исследования представляют собой трехмерные среды. На данный момент в практике электроразведки применяют упрощения реальной геологической среды до размерности 1D и 2D, но для высокой детализации и исследования 3D объектов такие упрощения уже неприменимы и требуют разработок новых и модернизации существующих методик съемок, усложнения математического аппарата обработки данных.

Модификация метода срединного градиента (СГ) – тензорная съемка, предложенная венгерскими геофизиками, позволяет успешно проводить малоглубинные исследования с высокой точностью и детализацией полученных результатов, а так же с учетом трехмерности исследуемых сред.

Тензорная съемка подразумевает использование двух ортогональных друг к другу питающих линий $A_1B_1 \perp A_2B_2$. При данной съемке фиксируются 4 горизонтальные компоненты сопротивлений ρ_{xx} и ρ_{xy} при использовании линии A_1B_1 , и ρ_{yy} и ρ_{yx} при использовании питающей линии A_2B_2 , соответственно (рис. 1).

Закон Ома в дифференциальной форме выражает связь напряженности электрического поля \vec{E} и плотности тока \vec{j} :

$$\vec{E} = \rho \vec{j} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{xx} & \rho_{xy} \\ \rho_{yx} & \rho_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j_x \\ j_y \end{bmatrix} \tag{2}$$

(3)

Имея питающие электроды A и B силу тока в питающей линии (A:+I, B:-I), горизонтальную компоненту плотности тока в точке измерения можно определить как:

$$\vec{J}_{AB} = \frac{\vec{I}}{2\pi} \left(\frac{\vec{r}_A}{\vec{r}_A^3} - \frac{\vec{r}_B}{\vec{r}_B^3} \right)$$

где $\vec{r}_A u \vec{r}_B - paguyc$ -векторы, направленные от питающего электрода к точке измерения, определяющие относительные координаты точки.



Рис. 1. Схема площадной съемки традиционной и тензорной методик измерений СГ. A1B1, A2B2 – две перпендикулярные питающие линии, M1N1, M2N2 – приемные

Если использовать 2 направления питающей линии, общее количество полученных уравнений для расчета компонент напряженности электрического поля будет соответствовать количеству элементов [2]. Если индексы 1 и 2 относятся к используемой питающей линии AB, то эти четыре уравнения примут вид:

$$E_{x}^{1} = \rho_{xx}j_{x}^{1} + \rho_{xy}j_{y}^{1} \tag{4}$$

$$E_x^2 = \rho_{xx} j_x^2 + \rho_{xy} j_y^2 \tag{5}$$

$$E_x^1 = \rho_{xx} i_x^1 + \rho_{xy} i_y^1 \tag{6}$$

$$E_{y}^{2} = \rho_{yx}j_{x}^{2} + \rho_{yy}j_{y}^{2}$$
(7)

Тогда тензор кажущегося напряжения задается как:

$$\overline{\overline{\rho_{\kappa}}} = \frac{1}{j_{x}^{1}j_{y}^{2} - j_{y}^{1}j_{x}^{2}} \begin{bmatrix} E_{x}^{1}j_{y}^{2} - E_{x}^{2}j_{y}^{1} & E_{x}^{2}j_{x}^{1} - E_{x}^{1}j_{x}^{2} \\ E_{y}^{1}j_{y}^{2} - E_{y}^{2}j_{y}^{1} & E_{y}^{2}j_{x}^{1} - E_{y}^{1}j_{x}^{2} \end{bmatrix}$$
(8)

После того как тензор кажущегося сопротивления задан, лучше всего использовать его пространственные инварианты, так как они не зависят от направления тока, таким образом, на картах кажущихся сопротивлений видна реальная геометрия аномалии [3].

Существует очень большое количество инвариантов, но для простого понимания можно привести 3 из них: детерминант ρ_{κ}^{det} , сумма квадратов элементов тензора ρ_{κ}^{ssq} и след ρ_{κ}^{trace} . Соответственно, данные инварианты можно рассчитывать по следующим формулам:

$$\rho_{\kappa}^{\text{det}} = (\det \overline{\rho_{\kappa}})^{1/2} = (\rho_{\kappa}^{xx} \rho_{\kappa}^{yy} - \rho_{\kappa}^{xy} \rho_{\kappa}^{yx})^{1/2}$$
(9)

$$\rho_{\rm K}^{\rm ssq} = \left(\frac{1}{2} \left(\left(\rho_{\rm K}^{\rm xx} \right)^2 + \left(\rho_{\rm K}^{\rm yy} \right)^2 + \left(\rho_{\rm K}^{\rm yx} \right)^2 + \left(\rho_{\rm K}^{\rm yy} \right)^2 \right)^{1/2} \tag{10}$$

$$\rho_{\kappa}^{\text{trace}} = \frac{1}{2} (\text{trace}\overline{\rho_{\kappa}}) = \frac{1}{2} (\rho_{\kappa}^{\text{xx}} + \rho_{\kappa}^{\text{yy}}$$
(11)

Можно использовать и другие альтернативные инварианты. Набор инвариантов, называемых WAL-инвариантов в магнитотеллурике (по инициалам Weaver Agarwal and Lilley, соавторов статьи by Weaver, et al. 2000) дают не только 1D оценку сопротивления, но так же признаки (индикаторы) 2D и 3D строения верхней части разреза [6]:

$$\rho_{\rm K}^{1D} = \sqrt{\frac{(\rho_{\rm K}^{ssq})^2 + (\rho_{\rm K}^{det})^2}{2}} \tag{12}$$

Индикатор двухмерности или анизотропия, *I*_{2D}:

$$I_{2D} = \frac{\sqrt{\frac{(\rho_{\rm K}^{SSq})^2 - (\rho_{\rm K}^{det})^2}{2}}}{\sqrt{\frac{(\rho_{\rm K}^{SSq})^2 + (\rho_{\rm K}^{det})^2}{2}}}$$
(13)

Индикатор трехмерности, I_{3D} :

$$I_{3D} = \frac{\rho_{\rm K}^{xy} - \rho_{\rm K}^{yx}}{2\sqrt{\frac{(\rho_{\rm K}^{ssq})^2 + (\rho_{\rm K}^{det})^2}{2}}}$$
(14)

Нами так же определялось среднее геометрическое и анизотропия по формулам:

$$\rho_{\kappa}^{\text{reom}} = \sqrt{\rho_{\kappa}^{xx} \rho_{\kappa}^{yy}}$$
(15)

$$\lambda_{\rm K}^{xx} = \frac{\rho_{\rm K}}{\rho_{\rm K}^{yy}} \tag{16}$$

$$\lambda_{\kappa}^{xy} = \frac{\rho_{\kappa}}{\rho_{\kappa}^{yx}}$$
(17)

 I_{2D} и I_{3D} являются безразмерными величинами, с абсолютными значениями между 0 и 1 (так же может выражаться в процентах – от 0 % до100 %).В одномерном случае оба индикатора будут равны 0, в двухмерном случае $I_{3D} = 0$, а I_{2D} будет отличен от 0. Только в трехмерном случае оба индикатора будут отличны от 0.

Опытные работы проводились на припойменном участке р. Сылва, находящейся на территории учебно-научной базы Пермского Государственного Университета.

Съемка проводилась в два этапа с помощью четырехэлектродной установки.

На первом этапе линия A1B1 была ориентирована в направлении запад-восток, а наблюдения проводились по системе профилей субпараллельных линии A1B1. Размер линии AB составлял 100 м.

Площадь исследуемого участка составляла 30х30 м и была расположена в центральной части размера питающей линии.

В пределах исследуемого участка было отработанно 7 профилей. С шагом между точками наблюдения равным 5 м. При расстоянии между профилями так же равным 5 м.

На втором этапе полевой съемки была использована линия A2B2 перпендикулярно расположенная линии A1B1, проходящая через центр питающей линии. Наблюдения выполнены в тех же самых точках, что и для линии A1B1, но по системе профилей, расположенных перпендикулярно линии A1B1.

При выполнении полевых работ проводилось измерение разности потенциалов между приемными электродами MN в двух направлениях:

- Параллельно приемной линии АВ
- Перпендикулярно приемной линии АВ
- Измерения проводились с помощью аппаратуры АМС-1.

В результате выполнения расчетов были получены карты кажущегося электрического сопротивления для двух вариантов расположения питающей линии: когда установка A1B1 шла вдоль реки (рис. 2a, 2в), и когда установка A2B2 была перпендикулярна по отношению к реке (рис. 2б, 2г), а так же карты различных инвариантов кажущихся сопротивлений, индикаторов размерности и анизотропности среды, коэффициенты анизотропии (рис. 2д, 2е, 3). Сопоставление карт кажущегося сопротивления, полученных при двух разных положениях AB, 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 факторами могут служить как локальные тела (например, карстовые пустоты), так и анизотропные свойства среды.



Рис. 2. Результаты съемок: а) карта ρ_{κ}^{xx} , б) карта ρ_{κ}^{yy} , в) карта ρ_{κ}^{xy} , г) карта ρ_{κ}^{yx} , д) карта ρ_{κ}^{reom} , е) карта λ_{κ}^{xx}

Наибольшая контрастность проявления электрических свойств была отмечена на карте коэффициента анизотропии. Анализ этой карты показывает наличие зоны повышения значения λ_{κ}^{xx} , пересекающей весь участок в юго-западном направлении (см. рис. 2e).

Анализ соотношения сопротивления и полученные инварианты показывают, что практически для всего участка составляющая кажущегося сопротивления перпендикулярная руслу реки, значительно превышает кажущееся сопротивление, идущее параллельно, что логично объясняет наличие зон выщелачивания карбонатных пород, вызванных движением подземных вод (см. рис. 3). Однако по величине значения значительно превышают существующий интервал изменения кажущегося сопротивления, чем может служить не только анизотропия, но также зоны/тела, отличающиеся резкой разуплотненностью пород, возможно образовавшиеся карстовые пустоты (см. рис. 2, 3).

Рассчитанные инварианты дают очень хорошие и в равной степени одинаковые результаты. Кроме того, индикаторы 2D и 3D-мерности полезны только в случае очень сильных аномалий – они дают суммарную информацию: I_{2D} о краях (т.е. о «линиях простирания аномалии»), а I_{3D} об углах.



Рис. 3. Результаты съемок в виде карт: а) ρ_{κ}^{det} , б) ρ_{κ}^{ssq} , в) ρ_{κ}^{trace} , г) ρ_{κ}^{1D} , д) I_{2D} , е) I_{3D} В соответствии с модельными результатами, индикаторы 2D и 3D-мерности имеют ясный физический смысл, но их выгодно использовать только в случае гораздо более точной расстановки электродов в полевых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. – М.: Научный мир, 2007. – 248с.

2. Bibby H.M. The apparent resistivity tensor. – Geophysics. – 42. – 1977. – P. 1258– 1261.

3. Bibby H.M. Analysis of multiple-source bipole-quadripole resistivity surveys using the apparent resistivity tensor. – Geophysics. – 51. – 1986. – P. 972–983.

4. Szarka L., Menvielle M. Analysis of rotational invariants of magnetotelluric impedance tensor. – Geophysical Journal International. – 129. – 1997. – P.133–142.

5. Szarka L., Ádám A., Menvielle M. A field test of imaging properties of rotational invariants of the magnetotelluric impedance tensor. – Geophysical Prospecting. – 53. – 2005. – P. 325–334.

6. Weaver J.T., Agarwal A.K., Lilley F.E.M. Characterization of the magnetotelluric tensor in terms of its invariants. – Geophysical Journal International. – 141. – 2000. – P. 321–336.

RESEARCH OF TENSOR SURVEYPOSSIBILITY USING ORTHOGONAL MEDIAL GRADIENT ARREY

Alexey Glotov, Kseniya Kropotina Perm State University, Perm lik5611@gmail.com, ksu240594@mail.ru

Abstract. Tensor survey proposed by Hungarian colleagues, is as an effective tool for solving many engineering problems of geophysics. The mathematical apparatus of data processing allows to localize objects in detail, taking into account three-dimensional character of environments under research. This article represents a methodology for survey and methods of data processing, as well as practical testing of the tensor survey using orthogonal medial gradient arrey in conditions of Cis-Ural region, in order to study the inhomogeneous and anisotropic properties of rocks near the Sylva river.

Keywords: tensor survey, the medial gradient orthogonal arrey, engineering geophysics, anisotropy, invariants

УДК 550.34 СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫЕ РАЙОНЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Горелов Пётр Владимирович¹, Шкабарня Николай Григорьевич² ¹ДВФУ, ГС РАН, г. Владивосток ²ДВФУ, г. Владивосток pet_gor@mail.ru

Аннотация. В данной статье приводится краткое описание сильных коровых землетрясений, так же определены основные сейсмически опасные районы Приморья и дана краткая характеристика цунами у берегов Приморского края.

Ключевые слова: землетрясение, глубина, магнитуда, глубокофокусные, коровые, цунами, мониторинг.

Приморский край является сейсмически опасным регионом. За последние полтора века на его территории и в близлежащих районах произошло более 370 землетрясений, и это лишь те, о которых известно. Большая часть из них относится к глубокофокусным, но отмечено также около 62 коровых землетрясений. Непосредственно на территории края коровые землетрясения единичны и разбросаны, кроме землетрясений 1962–1967 гг. севернее оз. Ханка. Последние образуют линейный ряд субширотного простирания.

Около половины всех землетрясений края зафиксированы на акватории Японского моря. Большинство этих землетрясений являются глубокофокусными и распределены в хаотичном порядке по всей акватории, но есть ряд землетрясений, которые образуют скопление.

Сильные подводные землетрясения несут большую угрозу возникновения цунами. Известно примерно сорок случаев крупных цунами, большая часть которых приходится на Японию и о. Сахалин. Побережье Приморья также подвержено влиянию цунами. Большая часть побережья Приморского края находится в ближней зоне очагов сильнейших цунами. Начиная с VIII века, имеются упоминания о 12-ти случаях цунами на побережье Приморья, шесть из которых относятся к прошлому столетию. Происходили они в следующем порядке:

• 15 марта 1924 года в районе Углегорска произошло землетрясение. Сильное волнение наблюдалось в реке. Более данных не имеется.

• 1 августа 1940 года наблюдалось цунами в районе пос. Рудная Пристань. Высота волны достигала 5 м, затем серия волн до 4 м. Разрушены пирсы и множество других прибрежных построек, на берег вынесены баржи, часть катеров получили повреждения либо унесены в море.

• 16 июня 1964 года цунами возникло у берегов Японии, в результате землетрясения сильно пострадал город Ниигата. У берегов Приморского края были отмечены перепады уровня воды в пределах 30 см.

• 26 мая 1983 года в Японском море произошло землетрясение с магнитудой больше 7. Волна достигла Приморья примерно через час. Высота поднятия воды достигала 5-6 м, по большей части в незакрытых бухтах Уссурийского залива. Был причинён ущерб торговым и рыбным портам, ТЭЦ-2 в городе Владивостоке, городу Находка, многим судам и предприятиям. По имеющимся данным погиб 1 человек. Хотелось бы отметить, что на ТЭЦ-2 могла произойти катастрофа. В результате цунами остановились турбины, произошёл перепад напряжения в генераторах, что могло привести к отключению электроэнергии почти во всём Владивостоке, но сработала система защиты и всё обошлось.

• 13 июля 1993 года подъём воды происходил почти на всём побережье Приморского края и в некоторых местах доходил до 4 м. Заплеск в некоторых местах доходил до 300 м. Пострадали суда (бились о пирсы, более мелкие выкидывало на берег), в результате смыто 700 т угля, разрушены пирсы, повреждён трубопровод, затоплены рыбозаводы и посёлки.

• 11 марта 2011 года произошло сильнейшее землетрясение, в результате которого сорокаметровое цунами обрушилось на Японию, погибли десятки тысяч человек, разрушено огромное количество строений, повреждена АЭС Фукусима-1. На территории Приморского края отмечался незначительный подъем воды в пределах 32 см вблизи посёлка Рудная Пристань и Преображение.

Цунами также опасно в зимний период, когда лёд становится в Приморских заливах и бухтах. В это время на лёд выезжают и выходят тысячи любителей подлёдной рыбалки.

Геофизической службой РАН проводится непрерывный сейсмический мониторинг. При регистрации подводного землетрясения производится обработка информации, определяются координаты, глубина очага, магнитуда и цунамигенность. На основании сейсмологических данных Центр Цунами (г. Владивосток) производит предварительный расчёт времени прихода волны, а так же её высоту. Наблюдения за уровнем моря позволяют подтвердить или опровергнуть расчёт.

На территории Приморья выделяются районы, которые отличаются повышенной сейсмической активностью. К ним относятся: побережье Хасанского района, приграничная область с Китаем; Уссурийский городской округ и Надежденский район; южное побережье Приморья, вблизи Находки; восточное побережье Приморского края; отдельные участки Чугуевского, Лазовского и Партизанского района; Ольгинский район; Тернейский и Красноармейский район (рис. 1).



Рис. 1. Карта инструментальных землетрясений Приморского края с выделенными сейсмически опасными районами

Хасанский район и приграничная территория относятся к наиболее сейсмически опасной зоне. Большая часть землетрясений в районе являются глубокофокусными и происходят очень часто. За год может произойти до четырёх землетрясений, хотя бывают и годы затишья. Так, с начала двадцатого века землетрясения в этом районе происходили каждые 2-4 года с промежутками затишья в 1940-1946 гг., 1946-1957 гг., 1959-1968 гг., 1985-1990 гг. Начиная с 1968 г., повторяемость увеличилась, а начиная с 2006 года, землетрясения происходят ежегодно и порой до трёх раз в год. Так же происходит и рост магнитуды: если в начале двадцатого века активность возрастала от 3 до 7 и затем падала, то, начиная с начала 21 века, активность растёт от 4.5 до 6. В среднем гипоцентр находится на глубине 550 км, но случаются и отклонения.

В районе Надежденского и Уссурийского городского округа сейсмическая активность не столь ярко выражена. Землетрясения не частые, но могут происходить в течение нескольких лет подряд. В основном пик приходится на середину шестидесятых – начало семидесятых годов. Большая часть – глубокофокусные, но есть и коровые от 10 до 25 км, с магнитудой около 5. Данных о серьёзных повреждениях не обнаружено. Последнее землетрясение зарегистрировано в начале двухтысячных.

На южном побережье Приморья сейсмическая активность отмечается со второй половины 20 века. Землетрясения происходили не часто с 1969 по 1980 годы и с 2000 по 2013 годы, а повторяемость их находится в пределах 1-4 года. С 1980 по 1999 годы было затишье, данные отсутствуют.

В Японском море регистрируется много землетрясений, часть из них разбросана в хаотичном порядке в море и вдоль побережья, часть происходит вблизи стыка континентальных плит. Но есть область между Японией и Приморьем, где отмечается скопление землетрясений со второй половины двадцатого века. Пять из них являются коровыми, с магнитудой около 4 и глубиной до 30 км, остальные – глубокофокусные. За год происходило по несколько землетрясений с последующими затишьями порой до 10 лет.

В Чугуевском и некоторых частях Лазовского и Партизанского района сейсмическая активность усилилась к концу двадцатого века. Землетрясения нечастые и происходят в пределах разломов порой по 2-3 раза за год. Все они являются глубокофокусными и не приводили к каким-либо повреждениям.

Ольгинский район и его побережье отличаются повышенной сейсмической активностью. Повышение отмечается со второй половины двадцатого века, а точнее с конца семидесятых годов. Землетрясения происходят в среднем с периодичностью раз в 1-4 года, но бывают и периоды затишья по 5-8 лет. Почти все землетрясения глубокофокусные, в среднем с глубиной 350 км и магнитудой от 4 до 5.5. Данных о повреждениях не имеется.

В Тернейском районе повышение сейсмической активности приходится на конец двадцатого века. Большая часть землетрясений относится к глубокофокусным, в среднем с глубиной 300 км и магнитудой от 3.5 до 7.5. Но присутствуют и три коровых, с глубиной около 30 км и магнитудой 4-5. В среднем повторяемость от 1 до 4 лет. С 2007 года в данном районе землетрясений не наблюдалось, они происходили почти ежегодно чуть севернее и вдоль побережья.

Эти скопления землетрясений являются, по большей части, глубокофокусными. Они занимают всего четверть всей площади Приморья. На большей части территории землетрясения происходили однократно, существуют районы, где они вообще не наблюдались, например, на севере Сихотэ-Алиня. Единичные же землетрясения невозможно предсказать и они могут произойти в любом месте. Доподлинно известно как минимум семь сильных землетрясений, причинивших разрушения. Все они произошли после тридцатых годов XX века:

1. Землетрясение 1933 года, эпицентр располагался в пределах станции Красноармейская, Партизанского района. Произошло на глубине 4 км с магнитудой 4.5, интенсивность на поверхности ощущалась в пределах 7-8 баллов. Пострадали жилища (разрушились печные трубы, отвалилась штукатурка), в шахтах чувствовались толчки под ногами, был повреждён водопровод, на крутых берегах рек произошли обвалы.

2. Землетрясение 1950 года – Артёмовское, эпицентр располагался между Артёмом и Уссурийском. Глубина гипоцентра 40 км, магнитуда 4, интенсивность на поверхности 5 баллов. Ощущалось на большом расстоянии от эпицентра: в г. Владивостоке, пос. Шкотово, с. Тереховка и многих других, в общей сложности насчитывается 19 населённых пунктов, в которых ощущались толчки.

3. Землетрясение 1955 года – Приморское, эпицентр располагался в районе станции Приморская и Кедровая Падь. Очаг располагался на глубине 6 км, с магнитудой 4.4, интенсивность на поверхности ощущалась в пределах 7 баллов. Толчки ощущали на всём побережье Амурского залива. В посёлке Приморское были повреждены все постройки, во многих домах разрушились печи и трубы. На склонах гор и сопок произошли оползни и обвалы. Образовались небольшие трещины в грунте. Наблюдался небольшой подъём воды в Амурском заливе, изменился рельеф дна залива.

4. Землетрясение 1962 года – Партизанское, эпицентр располагался на югозападной окраине г. Партизанска. Гипоцентр на глубине 1 км, магнитуда 2.7, интенсивность на поверхности составила 7 баллов. Из-за малой глубины разрушения оказались обширнее. В Старом Сучане разрушились трубы и печи, повело некоторые ветхие строения. В шахтах был повреждён трубопровод, ощущались толчки под ногами. В домах облетела штукатурка. Животные паниковали. Землетрясение ощущалось во многих посёлках Партизанского района. 5. Землетрясение 1967 года – Ханкайское, эпицентр располагался у южного побережья озера Ханка. На глубине 10 км, с магнитудой 5 и интенсивностью на поверхности в пределах 7-8 баллов. Вблизи эпицентра возникли провалы и трещины, был слышен подземный гул. Землетрясение ощущалось на большей территории Приморского края. По имеющимся данным общая площадь колебания составляла 200000 км², что почти в полтора раза больше территории края.

6. Землетрясение 1971 года – Партизанское, эпицентр располагался вблизи села Николаевка. На глубине 4 км, с магнитудой 4.1 и интенсивностью на поверхности 7 баллов. В районе эпицентра образовались трещины до 10 м длиной и первых сантиметров шириной. Ощущался сильный гул похожий на взрыв.

7. Землетрясение 1976 года – Покровское, эпицентр располагался в районе села Покровка. На глубине 10 км, с магнитудой 3.1 и интенсивностью на поверхности в 7 баллов. Ощущалось в виде подземного гула и резкого толчка. Повреждено много построек, разрушились печи и трубы, облупилась штукатурка, появились трещины в стенах.

Последнее коровое землетрясение было зарегистрировано в апреле 2014 года, в районе Кировского села, с магнитудой – 4 (рис. 2).





Рис. 2. Сейсмограммы последнего корового землетрясения в Приморье,12 апреля 2014г., вблизи п. Кировский, М = 4, сейсмостанция MSH

Рис. 3. Карта коровых землетрясений и основных зон ВОЗ

На основании карты коровых землетрясений можно выделить линейную зависимость землетрясений и отнести их к основным зонам ВОЗ, в пределах которых и происходят коровые землетрясения, по крайней мере, последние сто лет, что подтверждается последним Кировским землетрясением (рис. 3).

Увеличение сейсмической активности в Приморском крае приходится на вторую половину XX века, в основном из-за повышения уровня сейсмического мониторинга. В настоящее время существует множество теоретических методов предсказания землетрясений, но пока что все они не оправдали себя. Исторически известно, что на территории Приморья происходили сильные землетрясения в пределах земной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.А., Абрамова В.А. Новая карта сейсмической опасности Евразии // Тезисы докл. межд. конф.: Стихия. Строительство. Безопасность. Владивосток, 8-12 окт. 1997 г. – Владивосток, 1997. – С. 6-9.

2. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмогеология и сейсмическая опасность Приморского края // Вестник ДВО РАН. – 2006. – № 3. – С. 76–84.

3. Полякова А.М. Цунами у Приморского побережья. – Владивосток: Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 2008.

4. Щербинина Т.П. Итоги работы центра «Цунами» приморского УГМС за 2012-2113 гг. – Владивосток: УГМС Приморский край.

SEISMIC HAZARD REGIONS OF PRIMORYE

Gorelov P.V.¹, Shkabarnya N.G.² ¹Far East Federal University, Geophysical service of RAS, Vladivostok ²Far East Federal University, Vladivostok pet_gor@mail.ru

Abstract. This article provides a brief description of strong crustal earthquakes, as well seismic hazard identified key areas of Primorye and the brief characteristic of a tsunami off the coast of Primorsky Krai.

Key words: earthquake, depth, magnitude, deep-focus, a cow, a tsunami, monitoring

УДК 550.837 ИЗУЧЕНИЕ ПЛОТИНЫ ЕЛЬЧЕВСКОГО ПРУДА-ОТСТОЙНИКА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАЛОГЛУБИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Горшков Виталий Юрьевич, Маликов Александр Владимирович, Байдиков Сергей Владимирович, Давыдов Вадим Анатольевич ИГФ УрО РАН, Екатеринбург vitalaa@yandex.ru, sankya1586@mail.ru, badikek@mail.ru, davyde@yandex.ru

Аннотация. Дано описание методов малоглубинной электроразведки при исследовании насыпных гидротехнических сооружений. Приведены результаты полевых работ на насыпной плотине р. Ельчёвка. Показана высокая эффективность использованных методов малоглубинной электроразведки для изучения состояния насыпных плотин.

Ключевые слова: электромагнитное поле, индукционное зондирование, эффективное сопротивление, кажущееся сопротивление, плотина, фильтрация

Введение. Насыпные гидротехнические сооружения (ГТС) представляют собой объекты повышенного внимания, в случае их разрушения потери и урон трудно оценить, поэтому крайне важно следить за их состоянием. Одним из факторов, ускоряющих разрушение ГТС, является повышенная фильтрация воды сквозь тело плотины. Для определения зон фильтрации в случае ГТС возможно использование неразрушающих методов исследований, например, методов малоглубинной электроразведки, которые эффективны, потому что изменение увлажнённости почвы приводит к изменениям в электропроводности. Электрометрические исследования ГТС обычно включают: вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), измерения естественного электрического поля (ЕП) и разновидности методов сопротивлений, в том числе с использованием многоэлектродных установок (электротомография). При этом в основном применяются кондуктивные способы возбуждения и регистрации электрических полей. При отсутствии возможности обеспечить надёжный контакт электродов с исследуемой зоной, например, при асфальтовом покрытии, возникает необходимость прибегать к бескон-

тактным методам электроразведки [1], таким как дистанционные индуктивные зондирования (ДИЗ).

Цель данной работы заключалась в оценке возможности применения комплекса методов малоглубинной электроразведки (ВЭЗ, ЕП и ДИЗ) для исследования состояния ГТС и совершенствование геофизических методик для мониторинга насыпных плотин.

Характеристика объекта. Геофизические работы проводились на насыпной плотине пруда-отстойника донных отложений, образующихся в результате нейтрализации кислых дренажных вод Дегтярского рудника на р. Ельчевка в Свердловской области. Плотина расположена в 9 км к северу от г. Дегтярска, построена в 1954 году и реконструирована в 1979 г. Она сложена преимущественно суглинком с примесью щебня, имеет протяженность около 700 м, ширину верхней кромки 8-10 м и высоту 9-13 м. Сток осуществляется через нерегулируемый водосбросный канал в восточном краю плотины, пробитый в скальном грунте. Следуя по протоке, вода из пруда-отстойника попадает в Волчихинское водохранилище – основной источник питьевого водоснабжения г. Екатеринбурга.

Геологический разрез в районе строительства плотины по данным бурения имеет довольно пёстрый характер. Он представлен тремя типами коренных пород субвертикального залегания: порфиритами, туфами и известняками. Широко развита трещиноватость скальных пород, а контакты туфов с порфиритами осложнены тектоническими нарушениями. Осадочные образования состоят из элювиальных и делювиальных отложений коры выветривания коренных пород, торфа и аллювия долины р. Ельчевка (рис. 1а). Гранулометрический состав рыхлых отложений включает всю шкалу – от глин до крупнообломочного материала (щебень, глыбы).

Описание методик измерения и вычисления. Полевые наблюдения методами ВЭЗ и ЕП были выполнены с помощью цифровой электрометрической станции ЭРА-МАХ (НПП «ЭРА», г. Санкт-Петербург).

При измерениях методом ВЭЗ использовалась симметричная установка Шлюмберже (AMNB) с разносами питающей линии AB/2 1,5; 2,8; 3,8; 5; 7; 10; 15; 20; 28; 38; 50; 70; 100 м, размер приёмной линии составлял MN 2 м для AB/2 до 20 м, а для AB/2 от 15 м включительно размер приёмной линии составлял MN составлял 10 м с областью перекрытия AB/2 15 и 20 м. Глубина исследования принималась равной четверти разноса AB: $h_{9\phi} = AB/4$ [2]. Для построения геоэлектрических разрезов рассчитывалось кажущееся электрическое сопротивление по формуле ρ_{κ} =k $\Delta U/I$, где k – коэффициент установки ВЭЗ; ΔU – измеренная на приёмной линии разность потенциалов; I – сила тока в питающей линии.

Рабочая частота составляла 4,88 Гц, заземление генераторной и приемной линии осуществлялось с помощью стальных электродов.

Для измерений естественного электрического поля использовались неполяризующиеся медно-сульфатные электроды сравнения. Выполнялись измерения способом градиента потенциалов с шагом 10 м. Для уменьшения уровня помех электроды от точки к точке менялись местами. Полученные разности потенциалов $\Delta U_{\rm EII}$ по трём профилям затем были пересчитаны в значения потенциала ЕП относительно нулевого пикета.

Полевые наблюдения методом ДИЗ были выполнены с помощью индукционной аппаратуры МЧЗ-8 (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург) [3]. В состав комплекта аппаратуры входит генератор переменного тока с рамочным излучателем электромагнитного поля в виде вертикального магнитного диполя (ВМД) и измерительный блок с чувствительным магнитоприемником индукционного типа, настроенного в резонанс с рабочей частотой генератора. ДИЗ проводились на частоте 10,2 кГц в области малых и средних параметров электромагнитного поля Р =|k|*r < 10 [4]. Шаг наблюдений составлял 10 м. Методика измерений заключалась в регистрации трёх модулей взаимно перпендику-

лярных компонент напряжённости магнитного поля (Hz, Hr, H ϕ) на разных разносах генератора от приемника, причем приемник располагался неподвижно на точке зондирования, а генератор относился на требуемое расстояние г. Вынос генератора осуществлялся в западном направлении на расстояния в 10, 20, 30, 40, 60 и 80 м. Глубина исследования принималась равной четверти расстояния между генератором и приемником: hэ ϕ = r/4 [6]. Обработка данных заключалась в расчете эффективного удельного электрического сопротивления (УЭС) для низкочастотной асимптотики по формуле [4, 5, 6] $\rho_{э\phi}$ =2 f r² H_z/H_r, где f – рабочая частота, Гц; г – расстояние между приёмником и генератором, км; H_z – вертикальная составляющая напряжённости магнитного поля, А/м; H_r – радиальная составляющая напряжённости магнитного поля, А/м.



Рис. 1. а) Геологический разрез участка работ (условные обозначения: 1) тело плотины;
2) аллювиальные отложения; 3) порфириты; 4) суглинки коры выветривания порфиритов; 5) делювиальные суглинки коры выветривания порфиритов; 6) туфы;
7) кора выветривания туфов; 8) известняки; 9) глины); б) график значений потенциала ЕП относительно нулевого пикета по первому профилю; в) разрез эффективного электросопротивления по данным ДИЗ; г) разрез кажущегося электросопротивления по данным ВЭЗ

Результаты работ. На разрезах удельных электрических сопротивлений (УЭС) по результатам ВЭЗ и ДИЗ (рис. 1г, 1в) отлично видно, что в западной и восточной частях исследуемой области к поверхности приближаются коренные, наиболее высокоомные породы (сопротивлением более 100 Омм). В районе пикета 22 (220 м от начала профиля) и на разрезах ВЭЗ и на разрезах ДИЗ хорошо отмечается контакт порфиритов, расположенных под западной частью плотины и коры выветривания туфов, расположенной восточнее.

В самом теле плотины низкими значениями наблюдённых кажущихся сопротивлений отмечаются пикеты с 52-го по 60-й, эта зона может представлять собой сильно

обводнённый участок плотины и свидетельствовать о наличии возможной протечки в теле плотины на данном интервале. Косвенным подтверждением является аномалия ЕП (рис. 1б) в этом районе, прямым свидетельством повышенной фильтрации являются выходы ручьёв со стороны нижнего бьефа плотины, напротив ПК52 и ПК56, в основании низового откоса.

Заключение. По результатам сопоставления результатов измерения методами ВЭЗ и ДИЗ с данными геологии и видимым состоянием плотины, можно заключить, что малоглубинная электроразведка справляется как с задачей исследования глубинных структур, относящихся к основанию плотины, так и с задачей поиска обводнённых участков в теле насыпных гидротехнических сооружений, предоставляя полную картину состояния ГТС.

Работа выполнена при поддержке проекта ОФИ (№ 13-5-004-СГ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В.А., Человечков А.И., Байдиков С.В. Инженерные геофизические исследования плотин г. Екатеринбурга // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам» // Сборник докладов. – Екатеринбург: Издво УГГУ, 2009. – С. 40-43.

2. Матвеев Б.К. Электроразведка при поисках месторождений полезных ископаемых. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 375 с.

3. Байдиков С.В, Человечков А.И. Аппаратура для высокочастотных индукционных зондирований МЧЗ–8 // Уральский Геофизический Вестник. – № 1. – Екатеринбург: 2011. – С. 4-8.

4. Титлинов В.С., Журавлева Р.Б. Технология дистанционных индуктивных зондирований. – Екатеринбург: УИФ "Наука", 1995. – 58 с.

5. Вешев А.В., Ивочкин В.Г., Игнатьев Г.Ф. Электромагнитное профилирование. – Л.: Недра, 1971. – 216 с.

6. Журавлева Р.Б., Самоделкина С.А., Бакаев В.П. К выбору интерпретационных параметров при дистанционном зондировании и профилировании с аппаратурой ДЭМП–СЧ // Российский геофизический журнал. – №2-4. – 1994. – С. 67-70.

STUDY OF THE DAM ELCHEVKA SETTLING POND BY SHALLOW ELECTRICAL METHOD

Gorshkov Vitaliy, Malikov Alexander, Baydikov Sergey, Davydov Vadim Institute of Geophysics, UB RAS, YEkaterinburg vitalaa@yandex.ru, sankya1586@mail.ru, badikek@mail.ru, davyde@yandex.ru

Summary. Description of shallow electrical sounding methods for study of bulk hydraulic structures is given. Results of field work on artificial dam Ilichevka river are listed. High efficiency of shallow electrical sounding methods for the study of state artificial dams state is shown.

Keywords: electromagnetic field, induction sounding, effective resistivity, apparent resistivity, dam, filtration

УДК 550.83.04 ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Григорьев Данила Вячеславович, Турсуков Александр Леонидович ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

Аннотация. В статье приведена часть исследований, посвященная оценке влияния структуры горного массива на распространение сейсмических волн от технологических взрывов в шахтах. Приведены практические результаты замеров воздействия двух проведенных взрывов.

Ключевые слова. Сейсмические волны, технологический взрыв, шахта

На Урале исторически обусловлено, что жилые и другие социально значимые объекты располагаются в непосредственной близости от горнодобывающих предприятий, например, жилые микрорайоны в г. Нижний Тагил расположены вблизи от шахты «Магнетитовая», также на промплощадке шахты находятся сооружения промышленной инфраструктуры. Извлечение руды ведется с помощью взрывных работ как под землей, так и на поверхности, поэтому остро встает вопрос о сейсмической безопасности объектов промышленной инфраструктуры.

Как и практически любое месторождение на Урале, Высокогорское месторождение пересекается многочисленными разломными зонами (рис. 1). Структура крупных тектонических блоков осложняется большим количеством нарушений второго и третьего порядков, которые создают мелкоблоковую структуру месторождения. Отдельные мелкие части крупных блоков перемещены относительно друг друга на единицы, реже десятки метров. Таким образом, структура Высокогорского месторождения, благодаря развитой системе тектонических нарушений, имеет блоковое строение, при этом четко выражена иерархия блоков.



Рис. 1. План расположения тектонических нарушений в районе Высокогорского месторождения

Такое обширное развитие тектонических и техногенных нарушений оказывает свое влияние на распространение сейсмических волн, возбужденных технологическими

взрывами в шахте «Магнетитовая». На данный момент нет достоверного механизма оценки влияния тектонических нарушений на распространение сейсмических волн.

В настоящее время взрывные подземные работы на шахте «Магнетитовая» ведутся на горизонтах от -370 до -580 м. Пространство горных пород над ними в значительной степени насыщено различными выработками, каждая из которых оказывает некоторое влияние на прохождение сейсмической волны, возбужденной взрывом на нижележащих горизонтах. Кроме того, как было сказано выше, все месторождение разбито многочисленными тектоническими нарушениями, которые также оказывают свое влияние на прохождение сейсмических волн.

В то время как пустые выработки оказывают на волну ослабляющее воздействие, нарушенные зоны могут оказывать как ослабляющее, так и усиливающее воздействие, в этом случае можно назвать такую нарушенную зону волноводом. Эффект усиления возникает из-за резко различающейся акустической жесткости нарушенной зоны и вмещающих пород. Наличие подобного волновода на пути следования сейсмической волны, особенно вблизи от очага взрыва, может привести к тому, что энергия взрыва дойдет до дневной поверхности без особого ослабления, что может послужить причиной повреждения находящихся на поверхности зданий и сооружений даже на значительном расстоянии от эпицентра взрыва.

Цель проводимых в связи с этим мониторинговых исследований сейсмического эффекта от взрывов на шахте «Магнетитовая», помимо традиционного уже контроля уровня воздействия взрывов на здания и сооружения с целью обеспечения безопасности промышленных и гражданских объектов, состоит в накоплении информации о возможном влиянии тектонических нарушений на энергию и распространение упругих волн, возникающих при проведении технологических взрывов [1, 2, 3].

На одном из жилых домов (рис. 2), находящихся на довольно близком к шахте расстоянии – 600 м до эпицентра взрыва, была отмечена вертикальная трещина по всей высоте дома, которая, предположительно, является следствием расположения под домом границы нарушенной зоны. Результаты регистрации приведены в таблице 1.

Таблица 1

r esyndrards per ner padan							
Пункт регистрации	П1	П4	П5		П2	П3	
Скорости смещения, см/с	0,946	0,416	0,462		0,601	0,164	
Смещения, мкм	97	45	47		59	17	





Рис. 2. План расположения пунктов установки сейсмоприемников

Из таблицы видно, что значения, полученные на точках регистрации, находящихся за предполагаемым тектоническим нарушением, в 2-4 раза отличаются от значений, полученных до зоны нарушения. Пункты 1, 4, 5 и 2, 3 разнесены в таблице, так как представлены различными сейсмоприемниками.

Рассмотрим также последнюю на данный момент регистрацию сейсмического эффекта. Результаты, полученные в прошлые годы, не годятся для анализа по данной проблеме без дополнительной интерпретации в силу различия условий проведения регистрации – различные веса ВВ, расстояния до объектов и т.д. Во время последней проведенной регистрации в качестве объектов были выбраны два жилых дома на примерно одинаковом расстоянии от эпицентра взрыва. При этом направление от эпицентра взрыва до одного из них практически совпадает с преобладающим направлением развития тектонических нарушений, а до другого – перпендикулярно ему. Были получены следующие результаты (таблица 2). В таблице приведены суммарные значения по трем компонентам скорости колебания и смещения.

Таблица 2

Цанрарнациа	Скорос	ти смещения	я, см/с	Смещения, мкм			
паправление	Минимум	ум Максимум Среднее Минимум Ма		Максимум	Среднее		
Перпендикулярно							
тектоническим	0,308	0,416	0,355	35	44	40	
нарушениям							
По направлению							
тектонических	0,438	0,810	0,661	30	91	55	
нарушений							
	+42%	+94%	+86%	-14%	+107%	+38%	

Результаты регистрации

Таким образом, видно, что практически по всем показателям наблюдается значительный прирост значений. Можно сделать предварительный вывод, что затухание сейсмической волны, распространяющейся вдоль тектонических нарушений до двух раз меньше, чем затухание сейсмической волны, распространяющейся поперек тектонических нарушений. Однако пока проведен только один подобный эксперимент, еще рано делать какие-либо выводы. Данные результаты лишь подтверждают общеизвестные факты. В дальнейшем планируется продолжение подобных исследований с учетом известных данных по тектоническому строению исследуемого района [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведерников А.С. Исследования по оценке влияния структуры горного массива на распространение сейсмических волн от технологических взрывов в шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №4. – С. 66-69.

2. Григорьев Д.В. Геофизические исследования на месте будущего Эльгинского угольного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 6. – С. 307-311.

3. Усанов С.В., Мельник В.В., Замятин А.Л. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения // ФТПРПИ. – 2013. – № 6. – С. 83-89.

4. Зуев П.И., Ведерников А.С., Григорьев Д.В. Геофизическая диагностика состояния массива горных пород зоны комбинированной разработки Гороблагодатского железорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S11. – С. 114-121.

5. Замятин А.Л. Экспериментальные исследования состояния массива горных пород на объектах недропользования [Текст] // Сетевое периодическое научное издание «Проблемы недропользования» – 2014. – №2 – С. 29-33.

INFLUENCE OF STRUCTURAL-TECTONIC STRUCTURE OF ROCK IN SEISMIC IMPACT OF MASS EXPLOSIONS ON BUILDINGS AND STRUCTURES

Grigoriev Daniel, Tursukov Alexander Institute of mining the Ural branch of RAS

Abstract. The article presents part of a study on evaluating the impact of the structure of the rock mass on the propagation of seismic waves of technological explosions in mines. The practical impact of the results of measurements carried out by two explosions.

Keywords. Seismic waves, technological explosion, mine

УДК 550.34 ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА ЗА 2014 ГОД

Гусева Наталья Сергеевна¹, Голубева Инга Викторовна², Варлашова Юлия Викторовна¹, Верхоланцев Филипп Геннадьевич², Верхоланцева Татьяна Викторовна¹, Старикович Екатерина Николаевна²

¹ГИ Уро РАН, г. Пермь ²ГС РАН, г. Обнинск Natali.guseva.2010@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся основные результаты инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Урала за 2014 год. Проведен первичный анализ серии землетрясений, произошедших в республике Башкортостан в мае и сентябре 2014 года.

Ключевые слова: Сейсмические наблюдения, Уральский регион, землетрясение.

Несмотря на уникальную геологию и определенные предпосылки к тектонической активности, в Уральском регионе до середины 90-х гг. прошлого века сейсмологические наблюдения проводились ограниченно. Региональные инструментальные наблюдения за землетрясениями Урала получили бурное развитие лишь в 1999-2006 гг. К концу 2014 года региональная сейсмологическая сеть включает в себя двенадцать современных цифровых сейсмических станций на Среднем Урале (Пермский край и Свердловская область) и 6 станций – на Южном Урале (Оренбургская область и Республика Башкортостан), регистрирующих широкий спектр сейсмических событий. В результате обработки и интерпретации данных сейсмологических наблюдений на территории Уральского региона за 2014 год выделено более шести тысяч событий различной природы [1].

На рисунке 1 показано процентное распределение событий по типам. Основная масса событий приходится на удаленные землетрясения ≈ 3500 , более 2600 на взрывы на шахтах и карьерах региона, оставшееся количество – 203 – можно отнести на долю местных землетрясений. Часть событий имела локальный характер, т.е. события были зарегистрированы одной, реже двумя станциями, вследствие чего параметры расчета их очагов затруднителен. На рисунке 2 представлена карта эпицентров местных землетря- сений. Значительную часть местных событий (54 %) представляют горные и горно-

тектонические удары на Североуральских бокситовых рудниках (СУБР). Второе место по численности (19%) принадлежит шахтным событиям на Верхнекамском месторождении калийных солей, связанным с влиянием разработки калийных рудников. Наиболее многочисленные из них – события, связанные с образованием нового провала на руднике ОАО «Уралкалий» СКРУ-2 в г. Соликамск в ноябре 2014 г. Остальные события единичны и основная их доля приурочена к влиянию Главного Уральского разлома.

	Удаленные землетрясения	Взрывы на карьерах	Местные события	Bcero		
январь	289	210	21	520		 Удаленные
февраль	247	223	22	492		земпетрясения
март	303	190	20	513	4%	
апрель	283	262	15	560	40%	≡Взрывы на
май	311	194	18	523	+0.0	карьерах
июнь	289	249	13	551		
июль	261	236	10	507	56%	Местные события
август	317	215	15	547		
сентябрь	259	216	14	489		
октябрь	376	238	14	628		
ноябрь	371	202	31	604		
декабрь	292	176	10	478		
Bcero	3598	2611	203	6412		

Рис. 1. Результаты регистрации сейсмических событий за 2014 г.



Рис. 2. Эпицентры землетрясений, зарегистрированных на Урале за 2013-2014 гг.

Среди событий, которые не обусловлены непосредственным влиянием Главного Уральского разлома, можно отметить землетрясения, произошедшие в республике Башкортостан. Они, вероятно, имеют отношение к одной и той же локальной очаговой

зоне, расположенной в 35 км к юго-западу от г. Уфа, в Чимшинском районе. Станции BA1R, PR3R, PR7R и ARU зарегистрировали наиболее сильное из землетрясений с магнитудой ML 2.8, произошедшее 20 мая 2014 г. в 18:26:19 UTC и сопровождавшееся макросейсмическими проявлениями в нескольких близлежащих населенных пунктах. Весьма близкое расположение сейсмической станции BA1R позволило не только точно установить эпицентр, но и надежно определить глубину очага – 4 км. В тот же день в 18:27:51 UTC здесь же произошел его афтершок с магнитудой ML 1.6. Записи со схожими волновыми формами были получены от события, произошедшего здесь же 1 сентября 2014 г. в 21:00:47 UTC. Значительное сходство всех этих сигналов указывает на возможность многократной инициации одного и того же источника [2].

Под руководством специалистов ГИ УрО РАН сотрудники «Центра космических услуг» Башкирского госуниверситета провели опрос местного населения и собрали большой объем сведений об имевшихся макросейсмических проявлениях. Наиболее сильно (4-5 баллов) землетрясение ощущалось в с. Кляшево, менее интенсивно (3-4 балла) – в п. Лекаревка, д. Глумилино и на территории СНТ «Пласт». По словам очевидцев в с. Кляшево ощущалось дрожание почвы, был слышен гул, звенела посуда. Некоторые люди были сильно напуганы и выбегали из домов. На рисунке 3 представлена карта изосейст землетрясения 20 мая.

Глубина в 4 км, определенная по инструментальным записям, свидетельствует в пользу естественной природы землетрясения. Еще одним доводом в пользу этого утверждения является то, что вблизи нет ни одного карьера, где проводятся промышленные взрывы. В то же время стоит отметить, что зона эпицентра совпадает с территорией разработки нефтяной залежи. В районе имеется множество нефтяных скважин, из которых в течение многих лет осуществляется добыча нефти. Это обстоятельство говорит о том, что наиболее вероятной причиной всех трех произошедших здесь событий является именно откачка нефти.



Рис. 3. Карта изосейст землетрясения 20.05.2014

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что сейсмический режим Уральского региона в 2014 году характеризовался традиционными для него умеренными параметрами активности. В то же время можно отметить значительную активизацию обвальных землетрясений, связанных с отработкой месторождений калийных солей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсмологический мониторинг Западного Урала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm

2. Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Кутушев Ш.-И. Б. Сейсмостанция «Уфа» и первые результаты инструментальных наблюдений // Мат. 9-й МСШ. Республика Армения. – Обнинск, 2014.

SEISMIC ACTIVITY REVIEW OF THE URAL REGION IN 2014

Guseva Natalia Sergeevna¹, Golubeva Inga Viktorovna², Varlashova Julia Viktorovna¹, Verkholantsev Philipp Genndievich², Verkholanseva Tatiana Viktorovna¹, Starikovich Ekaterina Nikolaevna² ¹MI UB RAS, Perm ²GS RAS, Obninsk Natali.guseva.2010@mail.ru

Summary. This article presents the results of seismic instrumental observation at the Ural region in 2014. Analysis of the events occurred in Bashkortostan in May and September 2014 is given.

Key word: Seismological observation, Ural region, earthquake

УДК 550.34.06 МОДИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТОРА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Данилов Алексей Викторович, Афонин Никита Юрьевич ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск danilov.aleksey.vikt@gmail.com, afoninnikita@inbox.ru

Аннотация. Описывается возможность модификации детектора сейсмических событий для автоматического разделения локальных событий, регистрируемых пунктом сейсмических наблюдений «Земля Франца-Иосифа», по природе их происхождения.

Ключевые слова: детектор сейсмических событий, землетрясение, амплитудный спектр, алгоритм, льдотрясение, сейсмическая станция

В настоящее время для Архангельской сейсмической сети становится актуальным вопрос разработки алгоритма автоматического детектирования сейсмических событий и внедрения его в рутинную обработку [1]. Наличие автоматического детектора существенно упростило бы процедуру обработки сейсмических данных. В лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН работы по адаптации алгоритма [2] были начаты в 2012-2013 гг. [3]. В качестве примера взяты записи сейсмической станции ZFI «Земля Франца-Иосифа», так как влияние техногенной нагрузки на среду в районе станции минимально и, как следствие, – минимальное количество помех на записях.

Сейсмической станцией ZFI помимо региональных и локальных землетрясений регистрируется большое количество событий ледниковой природы [4]. В связи с этим одной из проблем является разделение выделенных детектором событий, так как для регионального сейсмического мониторинга события ледниковой природы – это помеха,

а для исследования ледниковых явлений – полезный материал. Например, за декабрь 2013 г. детектор выделил более 500 событий, из них всего 62 – региональные и локальные землетрясения, большинство событий – ледниковые микроимпульсы (льдотрясения) и некоторая доля ложных срабатываний. Если от ложных срабатываний можно избавиться только путем ручной выборки данных, то разделить землетрясения и льдотрясения можно попытаться автоматически, подобрав набор определенных критериев.

Для решения такой задачи возникла необходимость модификации существующего детектора [3] путем введения дополнительных параметров обработки данных. Таким параметром может быть фильтрация в определенном частотном диапазоне, а далее сравнение с характерным спектром для каждого типа события. Для выявления характерного спектрального состава событий разной природы было выбрано 15 локальных землетрясений и столько же льдотрясений, к которым предварительно была применена процедура фильтрации (2-22 Гц) для нивелирования фоновых шумов. Анализ амплитудных спектров позволяет сказать следующее. Локальные землетрясения проявляются в диапазоне от 5 до 18 Гц (рис. 1), льдотрясения – в более узкой полосе частот – от 2 до 8 Гц (рис. 2), для каждого типа событий амплитудные спектры схожи.



Рис. 1. Амплитудные спектры 15 локальных землетрясений (фильтрация сигнала в полосе 5-22 Гц)



Рис. 2. Амплитудные спектры 15 льдотрясений (фильтрация сигнала в полосе 2-22 Гц)

Далее для полученных амплитудных спектров обоих типов событий были вычислены усредненные спектры, которые наглядно показывают принципиальные отличия спектрального состава (рис. 3). Данный результат может быть одним из критериев по автоматическому определению природы детектируемых событий.



Рис. 3. Средний амплитудный спектр: 1 – льдотрясения, 2 – локального землетрясения

Алгоритм определения природы событий основан на сравнении амплитудного спектра выделенного события с модельными спектрами локального землетрясения и льдотрясения. В качестве модельных предполагается использовать осредненные по большому количеству однотипных сейсмических событий амплитудные спектры.

Степень сходства спектра зарегистрированного события с модельным спектром, численно определяется коэффициентом корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (X - \bar{X})^2}}$$

где X, Y – значения спектральных амплитуд детектированного события и модельного спектра соответственно; $\overline{X}, \overline{Y}$ – усредненные значения амплитуд по всем частотам спектра.

Таким образом, получаемый параметр характеризует степень сходства модельного и детектируемого события. Отнесение события к той или иной группе определяется максимальным коэффициентом корреляции между соответствующим модельным спектром и спектром детектируемого события. Данный алгоритм предполагается опробовать и внедрить, как составную часть в уже существующий региональный детектор [3].

Работа выполнена при частичной поддержке Минобрнауки России при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне Российской Федерации» (Соглашение о предоставлении субсидии от 20.10.2014 № 14.610.21.0006, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI61014X0006) и РФФИ 14-05-98801-север.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров А.В., Асминг В.Э. О возможности автоматического мониторинга локальной сейсмичности по данным одиночной трехкомпанентной станции на примере архипелага Шпицберген // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 322-326.

2. Асминг В.Э., Федоров А.В. Новые алгоритмы обнаружения и локации сейсмических событий по записям одиночной трехкомпонентной станции и сейсмической группы // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 35-38.
3. Анисимов А.С., Вдовин А.В., Конечная Я.В., Шахова Е.В. Опыт создания и применения автоматического регионального детектора на примере записей сейсмостанции ZFI // Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. Материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – С. 7-10.

4. Данилов А.В. Анализ ледниковой активности о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа // XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2014. – С. 81-83.

MODIFICATION OF THE AUTOMATIC DETECTOR OF SEISMIC EVENTS

Alexey Danilov, Nikita Afonin IEPN UB RAS, Arkhangelsk danilov.aleksey.vikt@gmail.com, afoninnikita@inbox.ru

Summary. Describes the possibility of modification of the detector of seismic events for automatic separation of local events, recorded by "Franz Joseph Land" seismic station, on the nature of their origin.

Key words: detector of seismic events, earthquake, amplitude range, icequake, seismic station

УДК 51-7+551.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ПРЕДЕЛАХ АКТИВНЫХ РЕГИОНОВ ПЛАНЕТЫ

Долгая Анна Андреевна, Викулин Александр Васильевич ИВиС ДВО РАН, ФГБОУ ВПО КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский adolgaya@kscnet.ru, vik@kscnet.ru

Аннотация. Приведены результаты проводимых авторами исследований временных и пространственно-временных закономерностей сейсмического и вулканического процессов. Описана база данных сейсмических и вулканических событий, разработанные авторами методы исследования и сформулированы положения феноменологической модели волнового геодинамического процесса.

Ключевые слова: землетрясения, извержения вулканов, миграция, геодинамический процесс, моделирование

Геодинамическая активность планеты проявляется в основном в виде сейсмических и вулканических событий, происходящих в пределах наиболее активных регионов Земли: окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта. Важность изучения закономерностей сейсмического и вулканического процессов объясняется необходимостью понимать и, в результате, иметь возможность уменьшать трагические последствия от катастрофических землетрясений и извержений вулканов.

Проводимые авторами исследования основаны на комплексном подходе к изучению закономерностей планетарного геодинамического (сейсмического и вулканиче-

ского) процесса. Информационной основой исследования является составленная и зарегистрированная авторами база данных [3], содержащая в едином формате данные о землетрясениях за последние 4.1 тыс. лет и извержениях вулканов за последние 12 тыс. лет.

Каждое событие в каталогах характеризуются следующими параметрами: дата события, время, координаты очага землетрясения или вулкана, глубина очага землетрясения (для вулканических извержений принята за ноль), энергетическая характеристика события. В качестве энергетической характеристики для землетрясений используется магнитуда M; для извержений – величина W (индекс вулканической активности), значениям которой W = 1, 2, ..., 5, 6, 7 соответствуют объемы выброшенного материала 10⁻⁽⁴⁻⁵⁾, 10⁻³, ..., 1, 10, 10² км³.

Каталог землетрясений содержит данные о 16675 событиях, произошедших за последние 4,1 тыс. лет: все известные данные о землетрясениях за 2150 г. до н.э. – 1899 г. и данные о сильных с $M \ge 6$ землетрясениях за 1900–2013 гг. Каталог извержений включает данные о 617 вулканах мира, извергавшихся 6959 раз в последние 12 тыс. лет: 9650 г. до н.э. – 2013 г.

Формат базы позволяет исследовать особенности распределений сейсмической и вулканической активности в рамках единых представлений с использованием известных и разработанных авторами новых методов.

Исследование закономерностей сейсмичности и вулканизма наиболее геодинамически активных регионов планеты включает в себя изучение временных и пространственно-временных закономерностей распределений очагов землетрясений и извержений вулканов.

Исследование временных закономерностей сейсмической и вулканической активности проводилось авторами с помощью ряда методов. Для анализа временных рядов очагов землетрясений и извержений вулканов авторы применяли методы спектрального и спектрально-корреляционного анализа, а также разработанный авторами метод, основанный на построении «квазифазовых» плоскостей [4]. С помощью оригинальной информационно-вычислительной системы [5] анализировались каталоги сейсмических и вулканических событий как планеты в целом, так и наиболее геодинамически активных регионов планеты – окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта. В ходе вычислительных экспериментов исследуемые исходные совокупности данных проверялись на устойчивость выявляемых для них периодов путем изменения граничных условий формирования выборок (временных и энергетических диапазонов).

Для изучения временных (квазипериодических) закономерностей сейсмической активности авторами разработан новый подход, который расширяет известный метод «точечного» анализа распределения чисел землетрясений по временным интервалам между ними. Методика позволяет адаптировать метод построения фазовых плоскостей в механике к исследованию закономерностей геодинамического процесса (прежде всего, сейсмической и вулканической его составляющих). Наличие замкнутых, вложенных друг в друга изолиний разных значений доверительной вероятности на таких плоскостях в соответствии с известными представлениями статистической физики определяют исследуемый региональный геодинамический процесс как периодический и/или квазипериодический. Для проведения вычислительных экспериментов по разработанной авспециализированная торами методике была разработана информационновычислительная система [6].

В результате изучения временных закономерностей сейсмического и вулканического процессов с помощью указанных методов было установлено существование общего основного $T_0 \approx 250 \pm 30$ лет и кратных ему четных $T_1 \approx 2T_0 \approx 500 \pm 50$, $T_2 \approx 4T_0 \approx$

 1000 ± 100 и T₃ $\approx 8T_0 \approx 2000 \pm 200$ лет периодов [7]. По мнению авторов, существование для обоих процессов таких периодов может являться основанием для рассмотрения сейсмического и вулканического процессов как составных частей единого волнового геодинамического процесса.

Для исследования пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса авторами был разработан новый метод исследования миграции сейсмической и вулканической активности (метод ИМСиВА).

Методика предполагает выполнение ряда этапов [2, 8]:

1) Формирование исходной выборки событий. Определяется географический регион, временной интервал, энергетический диапазон.

2) Построение координатных линий, вдоль которых изучается миграция сейсмической и вулканической активности. Линии строятся путем интерполяции систем узловых точек, которые формируются по наиболее активным областям (наибольшим скоплениям событий) и потому, как правило, повторяют линии стыков тектонических плит.

3) Пересчет географических координат событий в расстояние вдоль линии.

4) Построение миграционных цепочек очагов землетрясений и извержений вулканов. Алгоритм выделения миграционных цепочек сейсмических и вулканических событий в пределах каждой зоны сводится к следующему: для каждого *i*-го события каталога со временем t_i и координатой l_i искалось такое *i*+1-е событие, время и координата которого удовлетворяли условиям $t_{i+1} \ge t_i$, $l_{i+1} \ge l_i$.

В результате изучения пространственно-временных закономерностей (миграции) сейсмической и вулканической активности с помощью описанного подхода были получены следующие важные результаты:

1) Для наиболее тектонически активных поясов Земли показано, что миграция является неотъемлемым пространственно-временным свойством геодинамического процесса, протекающего в тектонически активных поясах Земли.

Установлено существование зависимостей между скоростями миграции очагов землетрясений и извержений вулканов (V) и их энергетическими характеристиками (M, W).

Значения коэффициентов зависимостей, представленных на рисунке 1, равны (1):

 $M \approx (7.6 \pm 1.0) LgV;$ $M \approx (6.7 \pm 0.5) LgV;$ $M \approx (-4.6 \pm 0.2) LgV$ (1 a, 6, b)

 $W \approx (-3.1 \pm 0.6)LgV; \quad W \approx (-3.9 \pm 1.0)LgV; \quad W \approx (-0.8 \pm 0.2)LgV \quad (1 \text{ r, д, e})$

1) Показано, что параметр p, характеризующий наклон зависимостей LgV(M) и Lg(W), «чувствителен» к тектоническим обстановкам в поясах [2]: положителен для областей сжатия (1a, б) и отрицателен для областей растяжения (1в-е).

2) Такой результат позволяет предположить, что миграционные сейсмический и вулканический процессы являются отражениями единого волнового геодинамического процесса, протекающего в пределах активных поясов Земли.

3) Анализ значений наклонов LgV(M,W) показал, что параметр *p* можно рассматривать как аналог физической векторной сохраняющейся величины, которая на наш взгляд может соответствовать моменту импульса [7, 8].

Графически полученные зависимости представлены на рисунке 1.



Рис.1. Зависимости скоростей миграции V очагов землетрясений (а, б, в) и вулканических извержений (г, д, е) от энергетических характеристик событий M и W. а) и г) – для окраины Тихого океана; б) и д) – для Альпийско-Гималайского пояса; в) и е) – для Срединно-Атлантического хребта.

Для верификации полученных с помощью описанного метода результатов на основании списка сейсмических событий Срединно-Атлантического хребта было создано два искусственных каталога: в первом реальные даты событий были заменены аналогичной по параметрам случайной последовательностью чисел; во втором каталоге были сгенерированы случайные значения координат событий вдоль осевой линии.

Для обоих искусственных каталогов были получены цепочки миграции и построены итоговые графики зависимостей логарифма скорости от магнитуды. Полученные «искусственные» графики характеризуются низкими значениями коэффициента корреляции (порядка 0.1), то есть, фактически, в таких искусственных каталогах не существует зависимости скорости миграции событий от их магнитуды. Вычисляемые при этом значения параметра p существенно отличаются от реального (1в): 0.6 и 1.9 для первого и второго искусственных каталогов соответственно.

Эти данные свидетельствуют о том, что выявленные с помощью метода ИМСиВА зависимости скорости миграции от энергетической характеристики (1) являются не случайным явлением («артефактом»), а реальными характеристиками геодинамического процесса.

Полученные авторами данные о временных и пространственно-временных закономерностях сейсмического и вулканического процессов были положены в основу феноменологической модели волнового геодинамического процесса, протекающего в пределах наиболее активных регионов Земли.

Построенная авторами феноменологическая модель описывается следующими положениями:

 Геодинамический процесс является периодическим (квазипериодическим) с основным периодом Т₀≈250 лет.

2) Геодинамический процесс, протекающий в пределах наиболее тектонически активных регионов планеты, обладает свойством миграции.

3) Параметр *p*, характеризующий зависимости между скоростями миграции сейсмической и вулканической активности и их энергетическими характеристиками, чувствителен к геодинамической обстановке в регионе, имеет тенденцию сохраняться и может быть интерпретирован как геодинамический аналог импульса.

4) Для описания выявленных волновых характеристик геодинамического процесса можно использовать канонические нелинейные уравнения, например, уравнение синус-Гордона (2):

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} - \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} = \sin \theta$$

Решением данного уравнения являются локализованные волны – солитоны [1], описывающие медленные уединенные тектонические волны, распространяющиеся в блоковой геосреде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2003. – 151 с.

2. Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др. Информационновычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. – 2012. – Т. 17. – №3. – С. 34-54.

3. Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др. Каталог сейсмических и вулканических событий // База данных № гос. рег. 2014620569 от 17.04.2014.

4. Долгая А.А., Акманова Д.Р., Викулин А.В. О периодичности геодинамического процесса // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различия, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания. – Том І. – М.: ГЕОС, 2014. – С. 124-128.

5. Долгая А.А, Анкваб А.А. Информационно-вычислительная система «Периодичность» // Программа для ЭВМ № гос. рег. 2013661747 от 16.12.2013.

6. Долгая А.А, Николаев А.Н. Информационно-вычислительная система «Квазипериодичность» // Программа для ЭВМ № гос. рег. 2013661748 от 16.12.2013.

7. Долгая А.А., Викулин А.В. Квазипериодичность геодинамического процесса и законы сохранения // Академический журнал Западной Сибири. – 2013. – Том 9. – № 6(49). – С. 6-7.

8. Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A. et.al. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysic. -2012. -V. 3. - N 1. - P. 1-18.

MODELING OF REGULARITIES OF GEODYNAMICAL PROCESS WITHIN THE ACTIVE REGIONS OF THE PLANET

Dolgaya Anna, Vikulin Aleksandr IVS FEB RAS, KamchatSTU, Petropavlovsk-Kamchatsky adolgaya@kscnet.ru, vik@kscnet.ru

Summary. The article shows the results of research of temporal and spatialtemporal patterns of seismic and volcanic processes conducted by the authors. Database of seismic and volcanic events as well as the authors' research methods are described; the concepts of the phenomenological model of wave geodynamic processes are formulated.

Key words: earthquakes, volcanoes, migration, geodynamic process, modeling

(2)

УДК 550.84 ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЛУХОЕ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Доманин Александр Юрьевич ВГУ, г.Воронеж Domanin.ayu@gmail.com

Аннотация: В статье приводятся петроплотностные и петромагнитные характеристики вмещающих пород и рудной толщи золоторудного месторождения Глухое (Приморский край).

Ключевые слова: золото, Приморский край, месторождение Глухое, плотность, магнитная восприимчивость, статистический анализ

Золоторудное месторождение Глухое находится на юго-востоке Красноармейского района Приморского края, в пределах Лужкинской подзоны Восточной структурно-формационной зоны Сихотэ-Алиньской геосинклинально-складчатой системы [1].

Сихотэ-Алиньская золотоносная провинция представляет собой окраинноконтинентальный вулканический пояс, сложенный вулканитами мелового возраста. Вулканиты формируют крупные сводовые и кольцевые депрессионные структуры, являются золоторудными районами и заключают основные месторождения. Месторождения представлены золото-серебряной формацией с рудными телами типа жил и жильных зон [3].



Рис. 1. Геологическая схема месторождения Глухое:

1 – аллювиальные отложения долин водотоков; 2 – алевролиты, песчаники, аргиллиты, кремнисто глинистые породы приманской, усть-колумбинской и ключевской свит; 3 – разрывные нарушения, выделенные по геофизическим данным; 4 – основные рудоносные зоны; 5 – золотоносные сульфидизированные зоны дробления, катаклаза и брекчирования пород, прослеженные по канавам; 6 – маломощные золотоносные минерализованные зоны; 7 – параметры наиболее представительных золоторудных сечений: в числителе – мощность (м), в знаменателе – содержание Au в г/т; 8 – канавы; 9 – скважины колонкового бурения.

Участок месторождения и прилегающая площадь (рис. 1) сложены нижнемеловыми осадочными отложениями ключевской (K₁kl), усть-колумбийской (K₁ucl) и приманской (K₁prm) свит. В их составе – алевролиты, аргиллиты алевроаргиллиты, песчаники, алевропесчаники, кремнистые, кремнисто-глинистые породы, зачастую переслаивающиеся с разной степенью ритмичности. В целом для терригенных образований площади характерны незначительная туфогенность, наличие углефицированного растительного детрита (нередко обильного), переотложенных углеродистых веществ и значительная сланцеватость (рассланцованность) алевролитов и аргиллитов.

Магматические породы площади представлены небольшими штокообразными телами кварцевых диоритов, многочисленными дайками диоритов, диоритовых и андезитовых порфиритовых синантичинского интрузивного комплекса позднемелового возраста. Среди них выделяется группа интенсивно лиственитизированных даек диоритпорфиритов-андезитов, с которыми тесно соседствуют минерализованные зоны с прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализацией. В большинстве своем магматические тела трассируют зоны крупных разломов северо-восточного простирания [3]. По данным геофизических работ в пределах площади фиксируются две купольные структуры (Мутненская и Румянцевская), связанные с невскрытыми эрозией малыми интрузиями среднего состава. Падение контактов магматических пород преимущественно крутое. Осадочные породы в приконтактовых зонах ороговикованы с разной степенью интенсивности.

В тектоническом отношении участок месторождения приурочен к узлу пересечения мощного Кулишовского разлома сбросо-сдвигового характера с северозападными и субмеридиональными разрывными нарушениями.

Нижнемеловые осадочные породы, слагающие участок, смяты в две крупные складки с северо-восточным простиранием осевых плоскостей – Развилинскую синклиналь и Меркуловскую антиклиналь, которые, в свою очередь, осложнены более мелкими складками самой разнообразной морфологии, а также флексурообразными перегибами. Падение крыльев складок преимущественно крутое – от 40-50 до 70-85°, на северо-запад и юго-восток.

Главная разрывная структура участка – Кулишовский сбросо-сдвиг северовосточного простирания, к зоне которого приурочены все золотоносные минерализованные зоны, примерно совпадает с осевой плоскостью Развилинской синклинали. В участках пересечения с разрывами субмеридионального и север-северо-западного простирания вмещающие породы наиболее нарушены, здесь же локализовано и наиболее продуктивное золотое оруденение (Основная, Северо-восточная рудоносные зоны). Рудные тела представляют собой зоны смятия, дробления и милонитизации черносланцевых пород, насыщенные кварцевыми прожилками, а также тонковкрапленными пиритом и арсенопиритом. Основным полезным минералом является золото. Оно тонкое и пылевидное, свободное, реже связанное в арсенопирите и пирите [4].

При лабораторных петрофизических исследованиях использованы образцы пород, отобранных при геохимической съемке. Определения физических свойств выполнены на 171 образце, их результаты приведены в таблице 1. Измеренные параметры подвергнуты стандартной статистической обработке [2], ее результаты приведены ниже в виде гистограмм.

Измерение магнитной восприимчивости образцов пород осуществлялось с помощью каппаметра КТ-5. Качество измерений определено по 20% контрольных образцов. Погрешность составила менее 1%.

Плотность измерялась гидростатическим методом. Использовались весы марки «HIGHLAND» типа HCB 1502 высокого класса точности. Средний вес образца составил порядка 400 г. Среднеквадратическая погрешность определений – 0,156 г/см³.

Таблица 1

средние зна тепия негрофизи теских нараметров отобранных образцов								
Порода	Количество образцов	χ, 10	σ, г/см ³					
		мин.	сред.	макс.	мин.	сред.	макс.	
Алевролит	39	1,9	21,8	62,7	2,38	2,58	2,95	
Песчаник	78	0	17,1	72,1	2,24	2,51	3,53	
Кварц	18	0	22,6	15,2	2,16	2,39	2,94	
Аргиллит	9	3,8	23,7	32,8	2,38	2,57	2,65	
Габбро-диорит	11	19,9	43,2	77,9	2,32	2,71	2,85	
Метасоматит	10	0	10,3	32,3	2,23	2,40	2,63	
Андезит	6	5,7	28,4	66,5	2,09	2,43	2,63	





Рис.2. Гистограмма распределения магнитной восприимчивости для всех типов пород



Рис.3. Гистограмма распределения плотности для всех типов пород



Рис.4. Гистограммы распределения физических параметров пород: а – распределение магнитной восприимчивости для алевролитов; б – распределение плотности для алевролитов; в – распределение магнитной восприимчивости для песчаников; г – распределение плотности для песчаников.

TC	\mathbf{a}
Гаолина	7.
гастица	_

Порода	Физический параметр	Количество образцов	Среднее значение Средне- взвешенное значение		Диспер- сия	Мода	Асиммет- рия
Алевро-	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	39	21,86	21,86	167,00	28,50	0,63
ЛИТ	σ, г/см ³		2,58	2,58	0,01	2,56	1,16
Песчаник	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	78	17,12	17,12	169,49	13,30	1,79
	σ, г/см ³		2,51	2,51	0,02	2,45	4,11
Кварц	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	18	22,67	22,67	1363,80	0,00	2,82
1	σ, г/см ³		2,39	2,51	0,02	-	0,60
Аргиллит	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	9	23,78	23,78	74,72	24,70	-1,28
	σ, г/см ³		2,57	2,57	0,01	-	-1,82
Габбро-	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	11	43,21	43,21	390,92	-	0,60
диорит	σ, г/см ³		2,71	2,71	0,02	2,82	-1,74
Метасо-	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	10	10,36	10,36	76,82	7,60	1,63
матит	σ, г/см ³		2,40	2,40	0,02	-	0,67
Андезит	χ, 10 ⁻⁵ ед. СИ	6	28,48	28,48	518,08	-	0,99
	σ, г/см ³		2,43	2,43	0,056	-	-0,89

Статистические характеристики петрофизических параметров

Магнитная восприимчивость горных пород изменяется в пределах – от долей до сотен 10^{-5} ед. СИ (см. рис. 2), при этом среднее значение по всем образцам – $23,9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Так у алевролитов она меняется от $1,9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ до $62,7 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. В схожих пределах магнитная восприимчивость изменяется и у песчаников, от 0 до $72,1 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Наиболее высокие значения магнитной восприимчивости у кварцевой брекчии и составляет $152 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Среднее значение магнитной характеристики у магматических пород превышает среднее значение по всем образцам почти в 2 раза и составляет $43,2 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (см. табл. 2).

Наиболее плотными из данных пород являются габбро-диориты, их средний удельный вес равен 2,71 г/см³. У алевролитов и песчаников средняя плотность составляет 2,58 г/см³ и 2,51 г/см³ соответственно.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю доценту кафедры геофизики ВГУ Жаворонкину В.И. за помощь в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажанов В.А. Геология Приморского края / В.А. Бажанов, Л.Ф. Назаренко. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. – 98 с.

2. Доманин А.Ю., Хорохордин Е.П., Добросоцкий С.В. Плотностные и магнитные свойства хромитовых руд и вмещающих пород Олыся-Мусюрского массива (Приполярный Урал) / А.Ю. Доманин, Е.П. Хорохордин, С.В. Добросоцкий // XIV Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – С. 87-90.

3. Константинов М.М. Золоторудные месторождения России / М.М. Константинов. – М.: Акварель, 2010. – 374 с.

4. Степанов В.А. Металлогения золота Приморья / В.А. Степанов // Вестник Амурского государственного университета. – 2012. – Вып. 59: Сер. Естеств. и экон. науки. – С. 112-119.

PETROPHYSICAL FEATURES FOR THE ROCK OF GOLD ORE DEPOSITS «GLUHOE» (PRIMORYE)

Domanin Alexandr

VSU, Voronezh Domanin.ayu@gmail.com

Summary: The article presents petrodensity and petromagnetic characteristics of host rocks and ore gold deposit «Gluhoe» (Primorsky Krai). **Key words:** gold, Primorsky Krai, ore deposits Gluhoe, density, magnetic susceptibility, and statistical analysis

УДК. 550.831

О НЕКОТОРЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ АППРОКСИМАЦИЯХ ДЛЯ ПРИБЛИЖЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТНЫХ КОНТАКТОВ

Дубовенко Юрий Иванович ИГФ НАН Украины, г. Киев nemishaveve@ukr.net

Аннотация. Указан новый способ линеаризации нелинейной задачи гравиметрии для определения контакта. Определено, что известные аналитические конструкции для определения плотностных контактов являются его частными случаями. Указан ряд поправок для последовательного итерационного уточнения аналитических аппроксимаций контакта. Даны оценки меры уточнения контактов в сравнении с известными.

Ключевые слова: гравиметрия, контактная задача, аналитическая аппроксимация, плотностной контакт, модель контакта, итерационная поправка, класс Нумерова

Введение. В процессе становления новой парадигмы в теории интерпретации потенциальных полей [5] актуальна разработка нового математического аппарата для моделирования потенциальных геофизических полей, адекватного современной геофизической практике. Об соответствующих требованиях к новому математическому диалекту геофизического моделирования и ключевой роли аналитических аппроксимаций геологической среды и геофизических полей много сказано в работах Страхова, например в [6]. Пополняя имеющиеся наработки в этой области, предлагаем новые аналитические аппроксимации для горизонтально-слоистой геологической среды. Они исследованы в рамках подкласса известного класса контактных поверхностей Страхова [3].

О постановке задачи. Решение $\zeta(x)$ *нелинейной* обратной задачи потенциала для контактной границы на классе Нумерова $Nu^{(1,\alpha)}(1,\Pi)$ границ $\zeta(x)$ раздела однородных сред исследовано ещё в [7]. С высокой точностью его можно заменить на *линейное* уравнение, которое описывает аналитическое продолжение вертикальной со-

ставляющей напряжённости поля u(x) силы тяжести в сторону тяготеющих масс на *среднюю глубину* $h = \zeta(x)$ [3]:

$$u(x) - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln \frac{(\xi - x)^2 + \zeta^2(\xi)}{(\xi - x)^2 + \zeta^2(x)} d\xi = \zeta(x)$$

$$\approx \zeta(x;h) = u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h}{h^2 + (\xi - x)^2} [u(\xi) - h] d\xi$$
(1)

Анализируя физическую суть процедуры (1) при ограничениях, свойственных классу $Nu^{(1,\alpha)}(1,\Pi)$, после ряда преобразований получаем линеаризованное приближение:

$$\zeta(x,h) = u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h}{h^2 + (\xi - x)^2} [u(\xi,h) - u(x,h)] d\xi .$$
⁽²⁾

Выражение (2) приближает решение задачи с точностью до квадрата разницы значений поля $h^{-2}(h^+ - h^-)^2$ – на уровнях y = 0 й y = -h. Но это выражение *не позволяет* определить поле u(x,h), просто продлив u(x) на уровень y = h > 0. Ведь прямая y = h рассекает тяготеющие массы на две части, и одна из частей при $\zeta(x) \le h$ будет *ниже* уровня y = h. Вследствие этого, функция u(x, y) при y < h – негармоническая.

О решении задачи. Найти приближение $\zeta(x,h)$ можно не по формуле (2), а из предела последовательности $\{\zeta_n(x,h)\}$ решений, полученных из итераций способа Андреева:

$$\zeta_{n+1}(x,h) = \zeta_n(x,h) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h}{h^2 + (\xi - x)^2} \zeta_n(\xi, x) d\xi + v(x),$$

$$\zeta_0(x,h) \equiv v(x) = u(x) - h, n = 0, \infty$$
(3)

с последующей регуляризацией по Лаврентьеву (что достаточно для первого приближения). Доказано [7], что в классе $Nu^{(1,\alpha)}(1,\ddot{I})$ решение нелинейной контактной задачи $\zeta(x)$ с точностью $h^{-2}(h^+ - h^-)^2$ при $h \to \infty$ получается из линеаризованного выражения:

$$\zeta^{(n)}(x,h) = \zeta(x) - \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{n+1} (-1)^{k+1} C_{n+2}^{k+1} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{kh}{(kh)^2 + (\xi - x)^2} \eta(\xi, x) d\xi.$$
(4)

Из этой формулы, при n = 0,1,2 как частные случаи, получаем известные аналитические формулы Нумерова [2], Хьюза [8] и Страхова [4], где $\Delta u(\xi) = u(\xi,0) - u(x,0)$:

$$\zeta^{(0)}(x,h) = u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h}{h^2 + (\xi - x)^2} \Delta u(\xi) d\xi,$$
(5)

$$\zeta^{(1)}(x,h) = u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{3h}{h^2 + (\xi - x)^2} - \frac{2h}{(2h)^2 + (\xi - x)^2} \right\} \Delta u(\xi) d\xi , \qquad (6)$$

$$\zeta^{(2)}(x,h) = u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ 6 \frac{h}{h^2 + (\xi - x)^2} - 4 \frac{2h}{(2h)^2 + (\xi - x)^2} + \frac{3h}{(3h)^2 + (\xi - x)^2} \right\} \Delta u(\xi) d\xi , \quad (7)$$

При этом формулы (4) и (6), (7) при $n \ge 3$ неэффективны для получения приближений контакта – через нарастание с номером итерации погрешностей округлений, особенно при вычислениях в окрестности точки $\xi = x$. Но подобный эффект прогрессии погрешностей не свойственен выражению (5).

Во избежание нежелательного накопления погрешностей идём в обход – ядра интегралов суммируем с разными знаками в направлении возрастания биномиальных

коэффициентов. Практика вычислений на простых численных моделях показала, что суммирование элементарных дробей в ядрах конструкций с индексами n > 0 по схеме (4) даёт положительные ядра преобразований только при n = 1,2,3, а при n = 4 – уже отрицательные, что указывает на расходимость соответствующих интегральных квадратур.

Итак, по результатам численного моделирования определено, что для практики вычислений приближений (4) контакта $\zeta^{(n)}(x,h)$ достаточно, взяв «нулевым приближением» выражение (5), ограничиться одной из формул:

$$\begin{aligned} \zeta^{(1)}(x,h) &= u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left[10h^{2} + (\xi - x)^{2}\right]h}{\left[h^{2} + (\xi - x)^{2}\right]\left[(2h)^{2} + (\xi - x)^{2}\right]} \cdot \Delta u(\xi)d\xi, \\ \zeta^{(2)}(x,h) &= u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left[156h^{4} + 13h^{2}(\xi - x)^{2} + (\xi - x)^{4}\right]h}{\left[h^{2} + (\xi - x)^{2}\right]\left[(2h)^{2} + (\xi - x)^{2}\right]\left[(3h)^{2} + (\xi - x)^{2}\right]} \Delta u(\xi)d\xi, \end{aligned}$$
(8)
$$\zeta^{(3)}(x,h) &= u(x) - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left[3696h^{6} + 124h^{4}(\xi - x)^{2} + 29h^{2}(\xi - x)^{4} + (\xi - x)^{6}\right]h}{\left[h^{2} + (\xi - x)^{2}\right]\left[(2h)^{2} + (\xi - x)^{2}\right]\left[(3h)^{2} + (\xi - x)^{2}\right]} \Delta u(\xi)d\xi. \end{aligned}$$

Выбор детальности определения приближения зависит от характера исходного поля u(x) и масштаба построений (меры задачи: локальная либо региональная). Отметим особо справедливость указанных выше конструкций только для областей малой меры ($\leq 100 \text{ кm}^2$) с несложной геометрией.

Уточнение модели контакта. Приближение (4) $\zeta^{(n)}(x,h)$ можно существенно уточнить с помощью ряда поправок, каждая их которых является аналитической аппроксимацией искомого контакта с различной мерой детальности на классе $Nu^{(1,\alpha)}(1,\Pi)$ допустимых искомых решений.

Например, поправка типа $\zeta_1^{(n)}(x,h) = \zeta^{(n)}(x,h) + \Delta \zeta(x,h)$, где

$$\Delta \zeta(x,h) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h^2 - (\xi - x)^2}{[h^2 + (\xi - x)^2]^2} [u(\xi,h) - u(x,h)] d\xi , \qquad (9)$$

повысит точность приближений до $h^{-3}\omega^3(\xi)$. Но численное моделирование показало, что в условиях слабоградиентного поля достаточно использовать поправку попроще:

$$\Delta \widetilde{\zeta}(x,h) = u(\xi_0) \frac{\partial u(x,-h)}{\partial y}, \qquad (10)$$

где $u(\xi_0)$ – некое «среднее» (осреднённое фильтрацией) значение поля на поверхности наблюдений.

Другая поправка $\zeta_1^{(k)}(x,h) = \sqrt{[\zeta^{(k)}(x,h)]^2 + \Delta \zeta(x)}$, k = 0,1,2,3..., для уточнений приближения $\zeta^{(n)}(x,h)$ контакта получается из решения линейного интегрального уравнения 1-го рода:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \zeta(\xi)}{\left[\zeta^{(n)}(x,h)\right]^2 + (\xi - x)^2} d\xi = v(x),$$

$$v(x) = u(x) - \zeta^{(k)}(x,h) + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln \frac{\left[\zeta^{(k)}(x,h)\right]^2 + (\xi - x)^2}{\left[\zeta^{(k)}(\xi,h)\right]^2 + (\xi - x)^2} d\xi,$$
(11)

повышая точность приближений $\zeta^{(n)}(x,h)$ до меры $\Delta \zeta_0^2(h^+)^{-3}$, $\zeta_0 = \max_x |\Delta \zeta(x)|$.

Поправку (11) можно обобщить в виде конструкции $\zeta_{n+1}(x) = \zeta_n(x) + \Delta \zeta_n(x)$, где

 $\Delta \zeta_n(x) = \lim_{m \to \infty} \Delta \zeta_n^{(m)}(x)$ получена как предел последовательных итераций вида:

$$\zeta_{0}(x) = \zeta^{(k)}(x,h), \ k = 0,1,2,3..., \ h^{-} \le h \le h^{+},$$

$$\Delta\zeta_{n}^{(m+1)}(x) = u(x) - \zeta_{n}(x) + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln \frac{(\xi - x)^{2} + \zeta_{n}^{2}(x)}{(\xi - x)^{2} + \zeta_{n}^{2}(\xi)} d\xi - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h}{h^{2} + (\xi - x)^{2}} \Delta\zeta_{n}^{(m)}(\xi) d\xi + \Delta\zeta_{n}^{(m)}(x), \ m = \overline{0,\infty}, \ n = \overline{0,\infty}$$
(12)

В итоге, получен ряд аналитических конструкций (8-12), применение которых к известным аппроксимационным изображениям контакта (4-7) на порядок повышает точность их определения. Доказано, что в классе $Nu^{(1,\alpha)}(1,\Pi)$ последовательные приближения (8-9) и (11-12) единственны и устойчивы (сходятся). Численно каждый способ сводится к решению линейного интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода с ядром типа Пуассона. Анализ практической точности этих конструкций в сравнении с известными методами [1] возможен после апробации на полевых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гравиразведка. Справочник геофизика / Под ред. Е.А. Мудрецовой. – Москва: Недра, 1981. – 400 с.

2. Нумеров Б.В. Интерпретация гравитационных наблюдений в случае одной контактной поверхности // ДАН СССР. – 1930. – №21. – С. 569-574.

3. Старостенко В.И., Черная Н.Н., Черный А.В. Условия существования решения обратной задачи теории потенциала для контактной поверхности // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1988. – №6. – С. 30-33.

4. Страхов В.Н. Об интегральных и функциональных уравнениях некоторых обратных задач теории логарифмического потенциала и их значении для интерпретации гравитационных и магнитных аномалий // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. – 1976. – №3. – С. 54-66.

5. Страхов В.Н. Смена парадигмы в теории линейных некорректных задач. – Москва, 2001.

6. Страхов В.Н. Об эффективных по быстродействию и точности методах построения линейных аналитических аппроксимаций в геофизике, геоинформатике и гравиметрии // Геофиз. журн. – 2007. – 29, № 1.

7. Чёрный А.В, Дубовенко Ю.И. Уточнение некоторых способов приближенного определения контактной границы // Доклады НАН Украины. – 2002. – № 12. – С. 128–132. (укр.).

8. Hughes D. The analitic basis of gravity interpretation // Geophys. – 1942. – 7, № 2. – P. 169–178.

ON SOME ANALYTICAL APPROXIMATIONS FOR THE APPROXIMATE DEFINITION OF THE DENSITY CONTACTS

Dubovenko Yurii

Institute of Geophysics NASU, Kyiv nemishayeve@ukr.net

Summary. A new technique of linearization for the gravimetry nonlinear problem for the contact definition is specified. It is defined that known analytical constructions for the definition of the density interfaces are its partial cases. A series of the corrections for the successive iteration refinement of the contact analytical approximations are stated. The estimations for the contact refinement measure are given in comparison with the known ones.

Key words: gravimetry, contact problem, analytical approximation, density interface, model of contact, iterative correction, Numerov's class

УДК 550.34

О ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТОВ ПРОЯВЛЕНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ОТ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ

Ёкубов Шокирджон Ёкубович ИГССС АН РТ, г. Душанбе yakubov2013@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы усиления или уменьшения интенсивности сейсмических колебаний на поверхности Земли в зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий местности. Указывается, что исследованием этих задач занимается одно из направлений сейсмологической науки – сейсмическое микрорайонирование.

Ключевые слова: инженерно-геологическое, гидрогеологическое, микрорайонирование, карты, сейсмичность

Таджикистан, как горную страну (93% ее территории занимают горы), с полным основанием можно отнести к уникальным районам земного шара, где, в силу естественных условий, открываются широкие возможности для всестороннего изучения различных геологических процессов и явлений. Этому способствуют хорошая обнаженность пород разного возраста и генезиса от архея до голоцена; наличие высочайших горных систем и прогибов с мощными накоплениями мезозойско-кайнозойских отложений; ярко выраженные складчатые, дизъюнктивные и инъективные дислокации; интенсивные тектонические движения; высокая сейсмичность; расположенность в зоне грандиозного скучивания хребтов Высокой Азии и другие не менее важные особенности геологического строения этой страны [1] (рис. 1).

Сейсмогеофизической наукой показано, что сейсмические волны, идущие от очага землетрясений, достигая поверхности Земли, приводят её к сотрясению, и, соответственно, оказывают воздействие на строения и объекты, созданные человеком. Установлено также, что интенсивность сотрясений зависит от местных грунтовых условий, и учёт этого фактора имеет особое значение для расчёта зданий и сооружений на сейсмостойкость. Этими вопросами занимается профиль сейсмологической науки – сейсмическое микрорайонирование.

Основная задача сейсмического микрорайонирования – прогноз вида и параметров сейсмического воздействия на здания и конструкции в зависимости от состава, строения, обводненности грунтов и рельефа площадки строительства. Точность сейсмического микрорайонирования во многом зависит от объёма и достоверности имеющейся сейсмологической и инженерно-геологической информации [2].

Так, если при проведении общего и детального сейсмического районирования, наряду с сейсмологическими данными, важную роль играют сведения по геофизике, тектонике (особенно новейшей и четвертичной), геоморфологии и т.д., то при микрорайонировании резко возрастает значение инженерно-геологических, литологических и геоморфологических работ. Грунтовые условия участков проектируемых объектов могут существенно влиять на характер сейсмических воздействий в сторону усиления или уменьшения их последствий.



Рис. 1. Карта общего сейсмического районирования территории Таджикистана

При проведении сейсмического микрорайонирования необходимо специальное инженерно-геологическое картирование, выполняемое, как правило, в масштабах от 1:25000 до 1:5000. В его состав входят съемочные, буровые и лабораторные работы. По их результатам составляется карта инженерно-геологического районирования, отражающая особенности геоморфологии и геологического строения территории, литологического состава и физико-механических свойств грунтов, глубины расположения уровня грунтовых вод. На рис. 2 в качестве примера приведено инженерно-геологическое строение территории г. Душанбе – столицы Республики Таджикистан.



Рис. 2. Карта инженерно-геологического районирования территории города Душанбе

На основании таких карт оценивается однородность территории, выделяются типовые участки. Для этих участков выполняется оценка ожидаемой интенсивности и типа сотрясений, инженерно-геологические исследования дополняются прогнозом из-

менений грунтовых условий, возможных в процессе строительства и эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

Большое значение при проведении сейсмического микрорайонирования имеют инструментальные сейсмометрические исследования. Они выполняются для прогноза характеристик сейсмического воздействия на отдельных участках, отличающихся инженерно-геологическими условиями.

Значительное увеличение территории г. Душанбе, расширение диапазона изменений инженерно-геологических условий в пределах новых границ, новые типы возводимых зданий и сооружений вызвали необходимость проведения современных исследований инженерно-геологических свойств грунтов.

В рамках международного проекта GEM-EMCA (Earthquake Modeling for Central Asia), в котором участвовал автор настоящей статьи, проводилось инструментальное исследование сейсмических свойств грунтов на территории г. Душанбе в 2012 г. Для этих целей на территории г. Душанбе была установлена временная плотная сейсмическая сеть, позволившая провести измерения в 72 точках при помощи портативных сейсмических станций EDL производства Федеративной Республики Германии. Кроме того, были измерены сейсмические шумы 37 одиночными станциями, а также проведены 4 сейсмических профиля. Все измерения проводились в фактических границах застроенной территории, а также к западу и югу от границ города. В результате непрерывных измерений сейсмометрической сетью были записаны 292 землетрясения (рис. 3).



Рис. 3. Пример записи землетрясения 29 июня 2012г. с магнитудой М=4,6 станциями на различных грунтах территории г. Душанбе

Как видно из рисунка записи одного и того же землетрясения на разных грунтах на территории г. Душанбе имеют различные спектры. Данные исследования позволяют определить пространственную изменчивость сейсмических свойств грунтов.

Таким образом, на основе этих новых наблюдений будет уточнена карта сейсмического микрорайонирования г. Душанбе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаев А.М., Кошлаков Г.В., Мирзоев К.М. Сейсмическое районирование Таджикистана (объяснительная записка). – Душанбе: Дониш, 1978. –68 с.

2. Бабаев А.М., Ищук А.Р., Негматуллаев С.Х. Сейсмические условия территории Таджикистана. – Душанбе: НПО «PMP International», 2008. – 91 с.

УДК 622.014.2-550.835.41 О РОЗМОУНОСТИ РЕАЛИЗАЦ

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ ПЕРВИЧНОЙ РУДОПОДГОТОВКИ С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОПРОБОВАНИЯ РУД

Ефименко Ольга Сергеевна¹, Диханов Ерлан Нургалиевич², Ефименко Сергей Анатольевич², Макаров Дмитрий Викторович³ ¹НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина ²ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Жезказган, Казахстан, serg_yef@mail.ru ³ИППЭС КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, makarov@inep.ksc.ru

Аннотация: Статья посвящена принципам формирования информационных баз для комплексной многофункциональной рудоподготовки (в части усреднения руд, предварительной рентгенорадиометрической крупнопорционной рудосортировки, рентгенорадиометрической сепарации руд) и подсистемы контроля и управления качеством добываемых руд модульного типа для рудников подземной добычи ПО «Жезказганцветмет» – филиала ТОО «Корпорация Казахмыс» (Казахстан), стержнем которых является рентгенорадиометрический метод опробования. Предложена структура многофункциональной рентгенорадиометрической системы рудоподготовки. Даны рекомендации по выбору современной ядерногеофизической аппаратуры.

Ключевые слова: рентгенорадиометрия, рудоподготовка, ядерногеофизические методы, спектрометр, метод спектральных коэффициентов, управление качеством руд

В условиях капитализации рынка максимальная экономическая эффективность от разработки месторождений цветных металлов может быть достигнута за счет: а) мероприятий по повышению полноты извлечения и комплексности использования запасов минерального сырья в недрах; б) интенсификации процессов добычных работ. Приоритетным сейчас становится первое направление.

В первую очередь сказанное выше актуально для крупных горнодобывающих предприятий, отрабатывающих запасы комплексных полиметаллических руд, и, в частности, для рудников подземной добычи ПО «Жезказганцветмет» – филиала ТОО «Корпорация Казахмыс», разрабатывающих Жезказганское месторождение медистых песчаников. Ввиду большой протяжённости, разной глубины залегания рудных тел, Жезказ-

ганское месторождение отрабатывается как подземным (Южно-Жезказганский рудник, Западно-Жезказганский рудник), так и открытым (Северо-Жезказганский рудник) способами. Исходя из раскройки шахтных полей по площади и глубине разработки, в составе каждого рудника выделены по несколько производственных единиц – шахт и карьеров.

Вскрытие рудников, отрабатываемых подземным способом, производилось вертикальными стволами и квершлагами. Отработка осуществляется в нисходящей последовательности, в основном камерно–столбовой системой с последующим погашением выработанного пространства путём выемки междукамерных целиков, частично (на участках, представленных флексурными залежами) – системой подэтажного обрушения. На всех технологических процессах вскрытия, подготовки и отработки рудных залежей и выемочных единиц используется высокопроизводительное самоходное оборудование: буровые каретки Boomer 2MD, Sandvik DD 420-60, Sandvik DD 410-40, Simba M7C; дизельные автосамосвалы MT 5020, TORO-50+, Caterpillar AD 20; ковшевые погрузочики Caterpillar 980 H UMA, Sandvik LH 514, ST 1520; крепильщики кровли Sandvik DS-510 (Робоболт), Boltec LD; оборщик кровли Caterpillar 980 H OKHT.

Для всех рудников характерны: последовательно-параллельный порядок отработки месторождения, эксплуатационных блоков и панелей; разнообразие применяемых систем разработки; значительное количество одновременно находящихся в добыче блоков, камер и панелей с различным качеством руд; линейные, комбинированные и расходящиеся модели рудопотоков.

Для месторождения Жезказган характерны: полиметаллический характер оруденения (наряду с Си имеются значительные запасы Pb, Zn, Ag, Cd. Re, S); многоярусность промышленного оруденения (9 горизонтов, 22 пласта серых полимиктовых песчаников, 27 рудных залежей, 390 рудных тел); отсутствие явно выраженных контуров рудных залежей и тел; четыре технологических сорта руд: медные сульфидные, комплексные (Cu-Pb, Cu-Pb-Zn), свинцовые (Pb, Pb-Zn, Zn) и смешанные (сульфидно-окисленные).

В связи с преимущественно горизонтальным залеганием рудных залежей и тел, опробование подземных горных выработок производится вертикальными сечениями, высота которых на забоях и уступах достигает 8 и более метров. При такой высоте практически невозможно отобрать представительную бороздовую или пунктирно бороздовую пробу. На каждой шахте число забоев и уступов исчисляется сотнями. Производительность традиционного рудничного опробования низкая. Налицо потребность в других, более производительных, представительных, достоверных и максимально информативных способах опробования. Иначе ни о каких автоматизированных системах управления качеством руд и речи быть не может.

В современных условиях для рудников ПО «Жезказганцветмет» наилучшим образом подходит новая концепция технического перевооружения рудников в рамках диверсификации горного производства, предложенная Г.Г. Ломоносовым [1]. Согласно этой концепции, на рудники, наряду с добычей руды, возлагаются функции первичной рудоподготовки, то есть доведения качества добытой руды до состояния, превышающего качество руды в отрабатываемых контурах залежей, путем выполнения совокупности разделительных (сепарационных) и смесительных (усреднительных) процессов и организации работы рудников по принципу «больше – через качество продукции», что позволит повысить их конкурентноспособность на рынке минеральных ресурсов. Схожая концепция реализована на шведском руднике «Кируна» [2], а также на Навоийском ГМК (компьютерные системы АС «РУДА» и САПР ГП по проекту российской фирмы ООО «Интегра Групп. РУ»). Концепция предполагает оснащение рудников комплексной многофункциональной системой рудоподготовки (КМСРП), основными компонентами которой должны стать планирование и непосредственное оперативное регулирование добычи руд (НОРДР) и непосредственное оперативное регулирование переработки руд (НОРПР). Причем, КМСРП, НОРДР и НОРПР должны быть нацелены не на один (профилирующий) рудный элемент, а на весь список основных и сопутствующих рудных элементов. В условиях ПО «Жезказганцветмет» переход на НОРДР стал возможен с внедрением рентгенорадиометрического метода (РРМ) опробования (РРО) и анализа (РРА) руд. Этот метод позволил сформировать и оперативно обновлять информационные базы достоверных данных о качестве руды в недрах, в подготовленных к отработке выемочных единицах (забой, камера, блок), в отбитой горной массе, в транспортных (дизельный автопоезд, вагонетка, думпкар, гондола, шахтный конвейер) и накопительных (рудоспуск, железнодорожный бункер) емкостях, составляющих основу информационной базы НОРДР.

На технологические показатели переработки руды в разной степени влияют многие параметры. Отследить динамику изменчивости этих параметров в условиях действующего горного производства технически невозможно. КМСРП, в противоположность геологическому объекту (месторождению), есть хорошо организованная система, где возможно детерминированное описание, допускающее использование для управления данных о динамике ограниченного числа переменных. В частности, в рамках КМСРП достаточно обеспечить оперативное отслеживание динамики изменения содержания основных и сопутствующих компонентов в руде, чтобы применить эффективное управляющее воздействие на процесс добычи, рудоподготовки, рудосортировки и переработки руды. При этом управление может с заданной точностью осуществляться действующими в системе функциональными связями и гарантировать выход на плановый уровень качества товарной руды за сутки, декаду, месяц, квартал, год. При такой постановке вопроса эффективность работы КМСРП будет зависеть от того, как быстро, в какой форме, с какой степенью достоверности, и в каком объеме будет поступать информация о качестве руды.

Определение содержаний элементов в руде – задача рудничного опробования, которое всегда являлось самым «узким» звеном в КМСРП любой конфигурации. С внедрением в практику геологического обслуживания горных работ ядерногеофизических технологий опробования руд (ЯГФТОР) в естественном залегании, в транспортных емкостях, в навале отбитой горной массы, переход на НОРДР стал реализуем на практике.

Таким образом, РРО руд в условиях естественного залегания, отбитой горной массе, транспортных емкостях, РРА анализа истертых забойных, шпуровых, вагонных и керновых проб и рентгенорадиометрический каротаж веерных отбойных скважин (РРК) должны рассматриваться не только в качестве основных способов геологического обслуживания горных работ на рудниках подземной добычи ПО «Жезказганцветмет», но и в качестве фактически единственного инструмента формирования информационных блоков подсистем НОРДР при проектировании КМСРП нового поколения.

РРО забоев, уступов, отбитой горной массы в навале, шпуровых проб выполняется с помощью портативных энергодисперсных рентгенофлуоресцентных (EDXRF) спектрометров РПП-12 (TOO «АспапГео», г. Алма-Ата, Казахстан): радиоизотопный источник Pu – 238; масса: датчика – 1,0 кг, электронного блока – 0,5 кг; число каналов преобразования – 1024; буфер памяти – 1000 спектров; время измерения – 10 сек; число одновременно определяемых элементов – 4 (Cu, Zn, Pb, Fe или Mn, Fe, Cu, Zn). Каждый забой или уступ за месяц опробуется от 3 до 7 раз по 1-2 вертикальным сечениям высотой до 7 м с шагом наблюдений 15 ÷ 20 см. Сейчас в эксплуатации находятся 18 комплектов РПП-12, а ежегодный объем РРО забоев доходит до 245000 п.м.

Идя навстречу постоянно растущим требованиям к комплексности использования минеральных ресурсов, ТОО «АспапГео» разработало модернизированный вариант спектрометра РПП-12, в котором пропорциональный детектор излучения уступил место дрейфовому полупроводниковому детектору (SDD), что позволило значительно расширить список определяемых элементов. Процедура доставки датчика к кровле забоя (комплект из четырех полутораметровых алюминиевых штанг) сохранена прежней.

Использование: a) беспроводной связи между датчиком и устройством управления и обработки информации значительно упрощает работу оператора и повышает безопасность всего процесса опробования забоев; б) в качестве устройства управления и обработки информации смартфонов последнего поколения обеспечивает более высокое быстродействие, гибкость программного обеспечения, возможность голосового управления прибором, а также реализацию дополнительных возможностей документирования результатов опробования (фотографирование, определение координат, оперативную передачу данных при наличии сети).

РРА выполняется на лабораторных EDXRF спектрометрах РЛП-21) и РЛП-21Т производства ТОО «АспапГео». РЛП-21 это: Si-Li полупроводниковый детектор; жидкий азот; радиоизотопные источники Am – 241; время измерения – 415 с; 34 определяемых элемента. РЛП-21Т это: дрейфовый полупроводниковый детектор (SDD) площадью около 25 мм2 и толщиной 300–500 микрон (охлаждение – термохолодильник Пельтье); рентгеновская трубка VF-50J Rh (50 Вт) фирмы Varian Medical Systems (США); экспозиция измерений 150 сек. 31 элемент, включая Al, S, Si и Re. Сейчас в работе находятся 7 комплексов РЛП-21 и РЛП-21Т (годовой объем РРА доходит до 242000 проб).

С внедрением РРОЗ и РРАП была создана база для развёртывания на добывающих и перерабатывающих предприятиях ПО «Жезказганцветмет» КМСРП в полном объёме.

С позиций реализации функций первичной рудоподготовки в НОРДР и НОРПР интерес представляют шесть подсистем КМСРП, каждая из которых представляет собой самостоятельный инновационный проект:

1. Регулирование отгрузки руды из рудоспусков в вагонетки. Предполагается пилотное использование в производственных масштабах метода компьютерного моделирования, реализующего стохастические модели заполнения рудоспусков порциями (Toro-40D; 22,0 м³) руды и выпуска руды из рудоспусков в вагонетки (ВГ-12; 12 м³), предложенную канадским ученым Д. Джолеем. При этом каждой порции руды, попадающей в рудоспуск, присваивается содержания Сu, Pb и Zn по данным последнего РРОЗ. Для обеспечения большей точности работы всего проекта желательно проводить РРОЗ после каждого цикла очистных работ.

2. Усреднение качества руд на внутришахтных автомобильных смесительных складах штабельного типа с укладкой порций (Toro-40D) руды наклонными слоями на вертикальный борт уступа и разгрузкой штабеля (Caterpillar-980F; 3,67м³) в поперечном направлении. Предполагается пилотное использование метода компьютерного моделирования по Д. Джолею процессов формирования и разгрузки штабеля. Каждой порции руды присваиваются содержания Cu, Pb и Zn по данным последнего PPO3.

3. Внутришахтная рудосортировка: применение технологий, позволяющих на основании данных РРО забоев, РРА проб и РРК веерных отбойных скважин оставлять породу и некондиционную руду в горном массиве, складировать породу в отработанных панелях, осуществлять раздельную отработку технологических сортов руд.

4. Внутришахтная сепарация отбитой горной массы (свежая, очень контрастная руда; отвалы прошлых лет) с помощью рентгенорадиометрических сепараторов для по- кусковой сортировки руд СРФ-2-100, СРФ-2-300 и СРФ-4-150 производства ТОО «Радос» (г. Красноярск, Россия) или Микро-РС-50, РМ-50Р, РМ-100Р, РМ-200 фирмы ООО «Интегра Групп. РУ» (Россия). При этом, массив отбитой руды разделяется на концентрат (кондиционная руда) и хвосты (порода, некондиционная руда). Концентрат отгружается в рудоспуски, а хвосты складируются в отработанных панелях.

5. Раздельная по времени переработка на обогатительных фабриках медных руд различного качества, либо путем составления для каждой шахты индивидуального оптимального календаря добычи и отгрузки «условно бедной» и «условно богатой» руды в рамках подсистем №1 и №2, либо путем разделения добытой руды в цехе рентгенорадиометрических сепараторов при обогатительной фабрике на те же два сорта. С.И. Петрович [3] показал, что описание функции массы меди, извлекаемой в концентрат с 1000 т руды, применительно к фабрикам ПО «Жезказганцветмет» представляет собой ломаную линию, состоящую из двух прямолинейных отрезков – отсюда термины «условно бедная» и «условно богатая» руда.

6. Широкое использование автоматических рентгенорадиометрических рудоконтролирующих станций (РКС): РЛП-3 (ООО «Геотех» (С-Пб), СТАРК-К (ООО «КрасРадос», Красноярск), СОN X (Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия), РКС-КМ (ТОО «Технорос», Красноярск) и других перед опрокидывателями на рудничных дворах откаточных горизонтов шахт, на шахтных конвейерах, после опрокидывателей на обогатительных фабриках. Балансы меди в руде, отгруженной шахтами рудничной промышленной площадки (вагонное опробование ОТК), и в руде, поступившей на обогатительные фабрики (ОТК фабрик), заметно разнятся в пользу шахт. Причин тому много, в том числе и «человеческий фактор». На «тяжелом» конвейере Жезказганской обогатительной фабрики №2 (ЖОФ-2) в январе 2014 года установлена РКС РЛП-3 (она определяет содержания Сu, Pb, Zn и Ag в руде, поступающей с шахт рудничной промышленной площадки ПО «Жезказганцветмет»). Планируется внедрение трех РКС РЛП-3 на оставшихся тяжелых конвейерах ЖОФ-1 и ЖОФ-2. В результате, будет наведен порядок в учете материальных потоков ЖОФ-1 и ЖОФ-2.

7. Реализация математической модели, позволяющей упростить процесс оптимизации календаря добычи и последующей раздельной по времени переработки руд различного качества в случае присутствия в рудах нескольких основных и сопутствующих рудных компонентов за счет отыскания с помощью функции цели максимума дохода от реализации концентратов.

Внедрение любой из шести предложенных подсистем, не говоря уже о КМСРП в целом, позволило бы не только поднять геологическое обслуживание горно-добычных работ на качественно более высокий уровень и значительно повысить эффективность горного передела в целом, но и создало бы предпосылки для внедрения в горное производство комплексной многофункциональной системы рудоподготовки и управления качеством руд, ориентированной на основные и на сопутствующие промышленные элементы, и базирующейся на самых современных научных и аппаратурных разработках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожиев Х.Х., Ломоносов Г.Г. Рудничные системы управления качеством минерального сырья. 2-е издание. – М: Изд-во МГГУ, 2008. – 232 с.

2. Ciruna, Mining magazine, June, 1987. – p. 462-467.

3. Петрович С.И., Запряткин Ю.А. Математическая модель оптимизации оперативных планов шахты (рудника) по добыче руды с учётом её переработки на обогатительной фабрике. – Алма-Ата: 1995. – №3. – С. 4-7.

POSSIBILITIES FOR PRIMARY ORE DRESSING USING X-RAY GEOPHISICAL TECHNOLOGIES OF ORE TESTING

Yefimenko Olga¹, Dichanov Erlan², Yefimenko Sergei², Makarov Dmitriy³

¹University of Science and Technology «Kharkov polytechnic university»,

Kharkov, Ukraine

²«Corporation Kazakhmys» LLC, Zhezkazgan, Kazakhstan, serg_yef@mail.ru

³Institute of Industrial North Ecology Problems of the Kola Science Centre of RAS,

Apatity, Russia, makarov@inep.ksc.ru

Abstract: The paper is devoted to the database building of complex multifunctional ore processing (ore bedding, preliminary X-ray radiomentric coarse ore sorting, X-ray radiometric ore separation) and of system for quality control and management for modular ore type from underground mines of «Zheskazgantsvetmet» production department (branch of «Corporation Kazakhmys», LLC (Kazakhstan). The studies are based on X-ray radiometric testing. A structure for multifunctional X-ray radiometric ore dressing system is suggested. Recommendations for choosing nuclear-geophysical equipment are given.

Key words: X-ray radiometry, ore dressing, nuclear-geophysical methods, spectrometer, spectral ratio method, ore quality control

УДК 550.34 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ДАЛЕКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ «СТОРОЖЕВОЕ»

Ефременко Марина Алексеевна^{1,2}, Калинина Элеонора Владимировна^{2,1}, Заклюковская Анастасия Сергеевна^{1,2}, Пивоваров Роман Сергеевич^{1,2} ¹ГС РАН ЛСМ ВКМ, г. Воронеж ²ВГУ, г. Воронеж 2880@mail.ru, elakalinina@gmail.com, zaklyukovskaya@gmail.com, nadezhka@geophys.vsu.ru

Аннотация: В работе представлена оценка регистрационных возможностей сейсмической станции (с/ст) «Сторожевое». Установлено, что регистрационные возможности с/ст «Сторожевое» зависят от географического положения эпицентра землетрясения. Установлены районы, из которых вероятность регистрации сейсмического события весьма мала.

Ключевые слова: сейсмичность, землетрясение, сейсмическая станция, регистрационные возможности

В работе представлена оценка регистрационных возможностей сейсмической станции (с/ст) «Сторожевое», расположенной в центральной части Воронежского кристаллического массива и входящей в Федеральную сеть сейсмических наблюдений России. Для выяснения регистрационной возможности сейсмостанции «Сторожевое» использовались каталог U.S. Geological Survey (NEIC) [1] и каталог с/ст «Сторожевое» за 2011-2013 гг. Всего было проанализировано 42 тыс. телесейсмических землетрясений с магнитудой 4 и более (каталог NEIC) и 7 тыс. землетрясений (каталог с/ст «Сторожевое»). При исследовании поверхность земного шара была условно разделена на ячейки размером 10°х10°. Затем было определено количество эпицентров землетрясений, зарегистрированных в каждой ячейке мировой сетью и с/ст «Сторожевое». Полученные значения относились соответственно к центру ячейки.

На рис. 1 для примера приведено распределение сейсмических событий за 2013 г по данным каталога NEIC. Наибольшее количество землетрясений наблюдается в зонах активных тектонических границ.

Для сравнения на рис. 2 показано распределение сейсмических событий за 2013 г по данным с/ст «Сторожевое».

Для получения обоснованного результата, в каждой ячейке было посчитано количество эпицентров землетрясений по каталогам NEIC и с/ст «Сторожевое» за период 2011-2013 гг, затем оба массива данных сравнивались и выделялись регионы, из которых с/ст «Сторожевое» не зарегистрировала ни одного землетрясения. В результате построена карта таких регионов с указанием минимальной и максимальной магнитуды незарегистрированных телесейсмических землетрясений (рис. 3).



зарегистрированных мировой сетью по регионам за 2013 г [1]

Как видно из рисунка, выделяется четыре небольших района, находящихся на расстоянии 20-25° от с/ст «Сторожевое», в которых произошли землетрясения, незарегистрированные сейсмической станцией. Их количество не превышает 10. Это: северная часть архипелага Франца-Иосифа, район архипелага Шпицбергена, центральная часть Аравийского полуострова и район западной Европы. Максимальная магнитуда незарегистрированных землетрясений составила 4.8, минимальная – 4.0. Основные зоны, землетрясения из которых не фиксируются с/ст «Сторожевое», расположены в



южном полушарии (рис. 3). Минимальная магнитуда незарегистрированных землетрясений 4.0, а максимальная – 6.1.

Рис. 2. Пример распределения сейсмических событий, зарегистрированных с/ст «Сторожевое» по регионам за 2013 г

Следует, однако, заметить, что сейсмическая станция «Сторожевое» уверенно регистрирует сейсмические события с М≥5.0, происходящие на всей территории России.



Рис. 3 Схема распределения районов, землетрясения из которых не зарегистрированы с/ст «Сторожевое» (данные за 2011-2013 гг.)

Как показал анализ, регистрационные возможности с/ст «Сторожевое» зависят от географического положения очага землетрясения. Выявлены районы, из которых вероятность регистрации сейсмического события достаточно мала. Это, скорее всего, связанно с нелинейным характером поглощения сейсмической энергии на пути распро-

странения волн. Кроме того, влияние может оказывать строение земной коры и грунтовых условий в месте установки станции [2, 3].

Авторы работы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ЛСМ ВКМ и лично зав. лаб. СМ ВКМ Надежке Л.И. за помощь и консультации при проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. U.S. Geological Survey (NEIC) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.usgs.gov/

2. Надежка Л.И., Ефременко М.А., Сафронич И.Н. Особенности записи телесейсмических событий региональной воронежской сетью // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 120-124.

3. Дубянский А.И. Оценка относительной чувствительности станции VRS // Вестник ВГУ. – Серия Геология. – Воронеж, 2004. – №2. – С.161-165.

ASSESSMENT OF THE EFFICTIVENESS OF THE REGISTRATION TELESEISMIC EARTHQUAKES OF THE SEISMIC STATION «STOROZHEVOYE»

Efremenko Marina Alekseevna^{1,2}, Kalinina Eleonora Vladimirovna^{2,1}, Zaklyukovskaya Anastasiya Sergeevna^{1,2}, Pivovarov Roman Sergeevich^{1,2}

¹ Geophysical survey RAS, Voronezh ² Voronezh State University, Voronezh 2880@mail.ru, elakalinina@gmail.com, zaklyukovskaya@gmail.com, nadezhka@geophys.vsu.ru

Absract: The article describes the assessment of the registration opportunities of the seismic station «Storozhevoye». It was established that the registration opportunities of the seismic station «Storozhevoye» depend on the geographical location of the earthquake epicenter. Established areas from which the probability of registration of seismic events is very small.

Key words: seismicity, earthquake, seismic station, registration opportunities

УДК 550.34.097. АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОБРОТНОСТИ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АНАПА» (ANN)

Заклюковская Анастасия Сергеевна ГС РАН, г. Воронеж zaklyukovskaya@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты расчета добротности сейсмической станции «Анапа» по методу коды S-волны. Проведено их сравнение со значениями, полученными ранее О.В. Павленко. Обоснована необходимость исключения из анализа событий с отношением сигнал/шум <4 во всем частотном диапазоне или в отдельных частотных полосах. Показана зависимость добротности среды от тектонического строения среды в окрестностях сейсмической станции.

Ключевые слова: сейсмичность, Северный Кавказ, землетрясения, добротность, кода волны

На сигнал от землетрясения, записанный на станции, оказывают влияние неоднородности в виде слоев, вызывающих появление вторичных регулярных волн, а также интерференционных цугов (волны Лява и группы волн Pg, Lg, Rg). На случайных неоднородностях разного рода возникают многочисленные нерегулярные волны. Они накладываются на волновую картину землетрясения, тем самым превращая исходный сигнал в сложный и продолжительный колебательный процесс. Такая среда со случайными неоднородностями называется сейсмически мутной [1].

Один из подходов для изучения мутности среды состоит в исследовании хвостовой части записи землетрясения – сейсмической коды. В записи коды землетрясения практически отсутствуют регулярные волны и наблюдается чисто случайный колебательный процесс [1]. Добротность среды Q(f) является безразмерным параметром, описывающим затухание сейсмической энергии при прохождении волны в геологической среде, и одной из наиболее информативных характеристик, дающей представление о материале и физических условиях внутренних слоев Земли. В работе был использован метод оценки добротности по коде S-волны, подробно методика описана в работах [2–4]. Основные формулы, используемые для расчета добротности:

$$Q_{c(f)} = Q_0 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^n \tag{1}$$

$$A(f,t) = t^{-\beta} w(f) e^{\frac{-\kappa_f t}{Q_c(f)}}$$
⁽²⁾

где $Q_{c(f)}$ – добротность среды по коде; Q_0 – добротность на некоторой референтной частоте f_0 (как правило, 1 Гц); n – частотный параметр, который близок к единице и меняется в зависимости от неоднородности среды региона; β – характеристика геометрического расхождения (для объемных волн β =1.0); W(f) – временная функция источника, $W(f) = A_0 e^{-\pi f k}$, где A_0 – амплитуда в очаге, k – приповерхностное затухание.

Целью настоящей работы являлся расчет добротности сейсмической станции «Анапа» ANN, для которой уже был проведен расчет О.В. Павленко [5–6]. Поставлена задача проследить, сохранятся ли значения добротности на другом наборе данных с той же самой методикой расчета, а также выявить критерии отбора сейсмических событий для максимально точного расчета.

Было выбрано 26 записей землетрясений сейсмической станции «Анапа» (ANN) с 2002 по 2014 гг., на эпицентральных расстояниях от 22 до 190 км. Магнитуда событий ML=2.5–4.4, глубина H= 5–67 км (табл. 1). Для расчета использовались записи с отношением сигнала к помехе не менее 4 согласно [3]. Исходя из методики расчета, в качестве начала окна изучаемой части коды волны было выбрано удвоенное время пробега S-волны (для этих времен очаговым процессом можно пренебречь) (выражение 2). Длина окна одинаковая для всех событий W=20 с. Вычисления добротности были произведены для четырех центральных частот 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 Гц.

Важным критерием выбора событий для расчета добротности является отсутствие наложения на коду рассматриваемого землетрясения другого сейсмического события (афтершока или иного сейсмического сигнала). И если такой сигнал присутствует, то необходимо исключить событие из обработки, либо убрать его влияние из расчета. Результаты расчета добротности по коде волны $Q_c(f)$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Mo	Пата	Breve		Qc(f)			S/N				
J1≌	дата	время	0.75	1.5			Весь спектр	0.75	1.5		
1	20.09.2002	20:56:08	27.1	50.5	25.6	66.0	207.3	15.2	105.9	232.8	347.1
2	23.10.2002	2:31:33.4	267.05	58.5	62.7	29.9	35.4	2.8	40	48	49.1
3	31.12.2002	14:32:23.9	240.3	247.9	08.7	74.3	22.1	2.3	15.1	25.8	36.2
4	31.03.2003	2:12:2.0	35.5	137.3	19.1	38.1	39.9	17.7	74.4	40.3	25.2
5	16.11.2003	3:53:30.6	45.6	116.6	78.7	73.8	10.3	7	8.8	15	13.4
6	18.01.2004	2:29:39.4	46.4	341.3	90.7	69.9	31.4	5.6	20.7	50.4	43.6
7	28.01.2004	15:45:14.8	90.2	359.5	3.1	76.2	13.4	1.4	7.2	26.1	11.8
8	01.06.2004	21:47:19	37.3	86.1	52.9	06.5	65.9	8.6	17.1	103.7	83.1
9	02.06.2004	12:13:59.9	64.7	145.4	59.7	66.5	19.1	3.6	15.8	21.8	11.5
10	13.07.2004	8:17:28.8	89.9	73.6	47.2	52.1	13.4	5.9	19.4	13.9	12.4
11	21.07.2004	3:54:23.9	45.2	80.4	16.6	02.4	8.4	10.9	31.7	7.5	6
12	01.10.2004	18:51:59.1	83.2	181.2	66.1	40.8	18.6	6	15.3	33.7	21.9
13	18.10.2004	23:15:24.1	63.0	66.6	47.2	03.4	101.9	9.4	95.3	142.3	128.4
14	30.05.2013	13:28:20.7	29.0	70.6	62.4	81.6	4.9	4.2	5.1	5.8	6.1
15	13.06.2013	22:38:2.6	51.2	65.4	51.9	95.4	43	3.6	29.9	49.8	58.6
16	08.07.2013	15:19:10.0	32.8	61.8	2.6	22.7	25.1	3.6	9.9	22.5	36.1
17	21.07.2013	10:17:34	31.2	112.1	62.7	95.6	15	3.7	14.2	25.9	19.6
18	09.10.2013	3:46:22.4	36.9	125.9	16.9	46.6	15	4.3	8	11.7	10.6
19	24.10.2013	16:13:8.4	33.0	51.2	3.7	77.1	28	2.7	18	35.8	41.5
20	13.01.2014	17:54:16.6	54.4	416.8	48.3	29.5	12	2.1	2.5	7.6	9.3
21	17.02.2014	22:51:59.9	-	379.8	23.2	29.2	4.5	1.2	2.3	5.3	6.9
22	18.04.2014	6:32:55.3	42.1	96.9	54.7	00.2	7	2.4	15.9	10.7	7.2
23	12.06.2014	2:32:1.5	-	137.3	14.6	59.9	7.3	1.2	5.9	8.8	11
24	24.06.2014	5:07:25.6	67.7	74.5	09.3	68.0	6.4	3.8	13.2	8.9	6.5
25	28.08.2014	9:59:11.3	134.6	81.6	40.2	04.4	5.8	3.1	5	9.9	6.4
26	09.11.2014	4:08:16.5	34.6	148.6	89.2	90.6	7	1.8	5	11.6	8.5

Таблица расчетных значений добротности Q_c(f) и отношений спектрального состава записи коды S-волны к фону для выбранных землетрясений

Средняя относительная погрешность вычислений получилась 57%, что показывает довольно большой разброс значений (табл. 2). На рисунке 1а представлен график зависимости полученных значений добротности от центральной частоты. Из него получена эмпирическая функциональная зависимость согласно выражению (1) $Q_c(f)=72.9f^{0.76}$.

В работах О.В. Павленко были получены более детальные оценки добротности среды в окрестностях сейсмостанции «Анапа» (ANN) $Q(f) \sim 90 f^{0.7}(Q_{0.75}=73; Q_{1.5}=119;$

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5

 $Q_{3,0}=194$; $Q_6=315$) (5, 6). В зависимости от выборки событий результаты вычислений меняются при одинаковой методике даже у одного автора. Исходя из этого и полученных результатов, а именно из большой погрешности вычисления, был проведен анализ исходных данных и выделение критериев их отбора для расчета добротности среды.



Рис. 1. График зависимости добротности $Q_c(f)$ от частоты, временное окно W=20. *а* – расчет для всего количества выбранных событий; б – расчет после выборки событий по критериям; фиолетовый – события с эпицентрами в море, желтый – на суше

6 6.5

0 0.5

1.5

2.5

2

3 3.5 4 4.5 5 5.5



Рис. 2. Примеры спектрального состава землетрясений с различным отношением сигнал/шум окна записи коды S-волны

а – землетрясение 12.06.2013 в 09:02, отношение сигнал/шум для всего спектрального состава в целом<4; б – землетрясение 23.10.2002 в 02:31, отношение сигнал/шум для частотного диапазона 0.5-1.0 Гц <4; в – землетрясение 18.10.2004 в 23:15, отношение сигнал/шум для каждого частотного диапазона >4; 1 – спектральный состав коды волны; 2 – спектральный состав фона

Выше было сказано, что для расчета добротности использовались записи с отношением сигнала к помехе не менее 4. Но согласно [3], необходимо не только анализировать соотношение сигнала землетрясения в целом к микросейсмическому фону, но и спектральный состав записи коды волны в выбранном окне. Для расчетов добротности выбирались частотные диапазоны с центральной частотой соответственно 0.5–1.0

(0.75), 1.0–2.0 (1.5), 2.0–4.0 (3.0) и 4.0–8.0 (6.0) Гц. Из этого следует, что отношение амплитуд спектрального состава коды S-волны должно превышать фоновые значения более чем в 4 раза для каждого из выбранных частотных интервалов в отдельности. Тогда полученные значения в результате расчетов будут более уверенными для всех центральных частот. На рисунке 2 представлены примеры различных отношений спектрального состава коды S-волны к фону.

Проанализировав спектральные составы записей коды всех выбранных землетрясений, было выявлено, что не все изначально отобранные события удовлетворяют поставленным условиям (см. табл. 1). Из таблицы видно, что для ряда событий отношение сигнал/фон (S/N) для центральных частот 0.75 и 1.5 Гц <4.

Из рисунка 2в видно, что отношение сигнала к шуму увеличивается по мере возрастания частоты. В работе [3] сказано, что часто при использовании не сильных землетрясений низкочастотный фон имеет высокие значения в сравнении с уровнем сигнала, из-за чего трудно получить достоверные значения добротности в диапазоне низких частот (1-2 Гц). Исходя из представленного выше, для конечного расчета добротности Q(f) на центральных частотах необходимо исключить события в целом или в определенных частотных диапазонах с отношением сигнал/шум <4.

По результатам спектрального анализа выбранных землетрясений с учетом необходимых критериев были рассчитаны новые значения добротности по коде волны $Q_c(f)$ (табл. 3).

Таблица 3

				1 44
<i>f</i> , Гц	0.75	1.5	3.0	6.0
$Q_c(f)$	44±12	128±85	158±41	312±128

Средняя относительная погрешность вычислений составила 40%, что в 1.5 раз меньше первоначального расчета. На основании новых данных получена эмпирическая функциональная зависимость согласно выражению (1) $Q_c(f)=66.5f^{0.8}$ (см. рис. 1).

На рисунке 3 представлено пространственное распределение эпицентров землетрясений. Большая часть эпицентров расположена в Черном море. Разброс значений в расчете добротности среды может быть связан с особенностями тектонического строения среды вокруг сейсмической станции. Добротность, полученная по записям коды землетрясений, эпицентры которых расположены на суши, имеет меньший разброс в значениях. Однако, это может быть связано с недостаточным количеством данных для изучения. Более подробный анализ связи добротности среды с тектоническими особенностями региона требует дополнительного исследования.

Выводы:

• В ходе работы были рассчитаны значения добротности сейсмической станции «Анапа» по 26 землетрясениям. После проведения сравнения результатов со значениями, полученными О.В. Павленко, было установлено, что в зависимости от выборки событий результаты вычислений меняются при одинаковой методике, однако эти изменения лежат в интервале установленных ошибок.

• Одним из первых критериев выбора событий для расчета добротности является отсутствие наложения на коду рассматриваемого землетрясения другого сейсмического события.

• Опытным путем было установлено, что для расчета добротности Q(f) необходимо исключать события в целом или в определенных частотных диапазонах с отношением сигнал/шум <4, что приводит к уменьшению ошибок.

• Значения добротности среды меняются в зависимости от тектонического строения среды в окрестностях сейсмической станции.



Автор работы выражает благодарность Габсатаровой Ирине Петровне за проявленный интерес к работе и ценные указания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С., Земцова А.Г., Проскурин А.П. и др. Экспериментальные исследования сейсмической коды – М.: Наука, 1981. – 142 с.

2. Aki K., Chouet B. Origin of the coda waves: source, attenuation and scattering effects // J. Geophys. Res. – 1975, № 80. – P. 3322-3342.

3. Havskov J., Ottemoller L. Routine data processing in earthquake seismology with sample data, exercises and software // Springer Science+Business Media. – B.V. 2010.

4. Заклюковская А.С. Добротность литосферы по коде S-волны района размещения сейсмической станции GUZR // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 155-159.

5. Павленко О.В. Характеристики поглощения сейсмических волн в коре и верхней мантии северо-западной части Кавказа // Изв. АН СССР, Физика Земли. – 2008. – №6. – С. 52-60.

6. Павленко О.В. Изучение региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на северном Кавказе посредством моделирования акселерограмм // Изв. АН СССР, Физика Земли. – 2009. – №10. – С. 38-48.

SELECTION CRITERIA ANALYSIS OF SEISMIC EVENTS FOR THE CALCULATION SEISMIC QUALITY FACTOR ON THE EXAMPLE SEISMIC STATION "ANAPA» (ANN)

Zaklyukovskaya Anastasiya Sergeevna GS RAS, Voronezh zaklyukovskaya@gmail.com

Abstract. The seismic quality factor (Qc) are obtained of the seismic station «Anap» by method codes the S-wave. Their comparison with the values obtained previously O.V. Pavlenko. The necessity exception to the analysis of events with a signal/noise ratio <4 over the entire frequency range or in specific frequency bands. The dependence of the quality factor from the tectonic structure of the environment in the area of the seismic station.

Key words: seismicity, the North Caucasus, earthquakes, quality factor, code waves

УДК 550.838.22 ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ НА УЧАСТКЕ ДРЕВНЕГО ЗАХОРОНЕНИЯ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Аннотация. Данная статья посвящена применению микромагнитной съемки для решения археологических задач на территории Богородского района Нижегородской области в рамках полевого лагеря при Международной студенческой конференции по геонаукам (IGSC 5). Рассматривается первичная обработка и интерпретация полученных данных. По результатам съемки выявлены местоположения двух возможных захоронений.

Ключевые слова: геофизика, магниторазведка, археология, микромагнитная съемка

В настоящее время чувствительность современных магнитометров составляет сотые доли нанотесла, что позволяет обнаружить объекты, создающие достаточно небольшие по величине аномалии магнитного поля. Одним из таких направлений использования магниторазведки является решение археологических задач.

С помощью наземной магниторазведки можно обнаружить захороненные стены и строения, глиняную посуду, кирпичи, кровельную черепицу, ямы для обжига, дороги, могилы, монументы и др. Картировать такие объекты можно благодаря их сильным магнитным свойствам, отличным от магнитных свойств окружающей среды [1]. Кроме того, известно, что во всех исторических местах имеется большое скопление железных предметов, которые можно обнаружить способами, применяющимися в магниторазведке. Магнитная восприимчивость в основном обеспечивается индуцированной намагниченностью или термоостаточной, которая создается, если предмет подвергался тепловому воздействию (обжигу). Целью данной работы являлась обработка и интерпретация результатов микромагнитной съемки, проведенной при непосредственном участии автора в ходе международной экспедиции в период со 2 по 9 августа 2014 года в Богородском районе Нижегородской области, возле деревни Подвязье (рис. 1).



Рис. 1. Район работ

Исследуемая площадь является местом раскопок древнего могильника угрофинских племен, датируемого ранним средневековьем (IV-VI вв. н.э.). Раскопки на данной территории ведутся уже более двух лет. За это время удалось обнаружить большое количество разнообразных артефактов: от деталей костюма древних людей (стеклянных бус и других женских украшений, бронзовых застежек, поясных наборов) до бронзовых и серебряных гривен, орудий труда, керамической посуды и оружия.

Съемка 2014 года проводилась на базе отдела геофизической акустики нижегородского Института прикладной физики российской академии наук (ИПФ РАН). В экспедиции приняли участие специалисты из ИПФ РАН, ННГУ, НИРФИ, ООО «Геофизпоиск» (Санкт-Петербург), ПГНИУ, а также двух университетов Германии (Берлинского и Франкфуртского). Целью исследований являлась оценка перспективности участка работ для проведения дальнейших раскопок, выявление областей, потенциально содержащих наибольшее количество артефактов.

Была применена площадная съемка по методике однократных измерений. Учитывая небольшой размер объектов (наконечников копий, глиняных черепов и т.д.) и малую глубинность исследований, съемка проводилась по подготовленной сети 36 параллельных профилей с шагом 0,25×0,25 м.

В качестве рабочего прибора был выбран протонный магнитометр МИНИМАГ-М, являющийся разработкой ФГУНПП «Геологоразведка», со среднеквадратической ошибкой измерений – 0,03 нТл. Также прибор позволяет проводить градиентную съемку, устанавливая датчики на разных уровнях. При проведении съемки нами использовался датчик, расположенный на высоте 40 см, позволяющий регистрировать аномалии от неглубоко залегающих объектов.

Для исключения влияний на полевые измерения переменной части магнитного поля, обусловленного геомагнитными вариациями, использовался магнитометр МИНИМАГ-М, выступающий в роли магнитовариационной станции (MBC). MBC записывала вариации раз в четыре секунды.

Расчет аномального поля dT осуществлялся по формуле:

(1)

 $dT = T_1 - T_{_{Bap}} - T_{_{H}},$

где T1 – значение поля, определенного по нижнему датчику, T_{вар} – значение геомагнитных вариации, зарегистрированных на MBC, T_н – значение нормального поля, определенное как медиана всех значений с нижнего датчика.

По результатам была построена карта аномального поля dT (рис. 2).



Рис. 2. Карта магнитных аномалий T_a на высоте 0,4 м участка захоронения

Отчетливо видно, что в центральной части карты выделяются две сильные локальные аномалии. Форма аномалий типична для диполей. Первая аномалия (№1) имеет максимальную положительную интенсивностью 49 нТл и с минимальную в -140 нТл, а вторая (№2) – менее интенсивна: максимум составляет 133,5 нТл, а минимум – -31 нТл.

Аномалии разнознаковы, что может свидетельствовать о косой намагниченности объектов. По ширине аномалий можно в первом приближении оценить глубину залегания объектов. Поскольку ширина аномалий составляет 0,9 м, то примерная глубина может быть оценена в 0,40-0,45 м.

В дальнейшем была проведена оценка глубины залегания аномалеобразующих объектов по ряду профилей наблюдений с помощью программы Coscad 3D [2], которая показала, что глубина составляет в среднем 0,3-0,4 м. Для примера на рис. 3 приведено решение обратной задачи по одному из профилей, пересекающих аномалию №1, по методу Приезжева.

Для локализации аномалий от археологических объектов была проведена количественная интерпретация магнитных аномалий с использованием различных программных продуктов: Mag2dc (G.R.J. Cooper 1993-2001), Magnit (ГИ УрО РАН), MS Excel. Задача решалась методом подбора.

Моделирование не принесло желаемых результатов (рис. 4) – не удалось аппроксимировать искомый объект изолированными телами, что, вероятно, обусловлено многофакторным характером выделенных аномалий.



Рис. 3. Оценка глубины по методу Приезжева

Для разделения полей была проведена медианная фильтрации аномального поля в окне 5×5 и 3×3 с использованием программы автоматизированного картопостроения Surfer (Golden Software Inc.). Это позволило исключить высокочастотную составляющую магнитного поля. По результатам фильтрации были построены карты (рис. 5).



Рис. 4. График полного вектора Т над косонамагниченным шаром

Затем была проведена количественная интерпретация аномалии №1 – моделирование в программе Mag2dc (рис. 6). Это позволило выделить в разрезе два аномалиеобразующих объекта. Первый обладает намагниченностью -0.0016 ед. СГС и залегает на глубине порядка 30 см. Второй характеризуется намагниченностью 0,0022 ед. СГС при глубине залегания 45 см. Сравнивая намагниченность полученных объектов с магнитными свойствами археологических артефактов [3], можно предположить, что выделенные объекты являются обломками древней керамики или представляют собой участки обожженного грунта.



Рис. 5. Карта локальных аномалий после медианной фильтрации в окне 5×5 (слева), моделирование в программе Mag2dc (справа)

В результате микромагнитной съемки была построена детальная карта полного вектора Т. Удалось оконтурить участок для дальнейших раскопок.

Также была оценена примерная глубина залегания объекта и выполнено моделирование. Для более уверенного определения расположения объектов, оценки их глубины следует проводить измерение магнитной восприимчивости ранее найденных объектов и тщательно выбирать шаг наблюдений. Соблюдение данных условий существенно облегчит обработку полученных данных.

Выполненные на участке древнего захоронения исследования позволяют более уверенно и обосновано подходить к месту выбора раскопок, что позволяет облегчить работу археологам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершанок Л.А. Магниторазведка: учебник для студентов вузов по специальности «геофизика». – Пермь: Пермский университет, 2011.

2. Никитин А.А., Петров А.В. Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных «Коскад 3D». – М: РГГУ, 2010.

3. The Magnetic Properties of Archaeological Materials. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ftp://geom.geometrics.com/pub/mag/literature/M-TR124.pdf

THE APPLICATION OF MICROMAGNETIC SURVEY ON THE NECROPOLIS AREA IN NIZHNY NOVGOROD REGION

Zaklyuchnov Igor PSU i.zaklyuchnov@gmail.com

Summary: This article is devoted to the application of micromagnetic survey for solving archeological problems during the field camp of the IGSC 5 on the territory of the Bogorodsky area in Nyzhniy Novgorod region.

The primary data processing and data interpretation is considered. According to the results of survey, the location of two probable necropolis landfills is revealed.

Key words: geophysics, archaeology, magnetometry, micromagnetic survey

УДК 622.83 ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРОМПЛОЩАДКИ И СТВОЛА ШАХТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Замятин Алексей Леонидович, Харисов Тимур Фаритович ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург A.zamvatin@mail.ru

Аннотация. По результатам геофизических исследований, выполненных на стволе шахты «им. С.М. Кирова», были определены глубина залегания пробки из грунта и обломков крепи в нарушенном стволе, глубина залегания коренных пород. Исходя из полученных данных, согласно РД 07-291-99 «Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами», были разработаны рекомендации, обеспечивающие ликвидацию ствола шахты, с учетом его аварийного состояния.

Ключевые слова. Ствол шахты, ликвидация, нарушения крепи, деформация массива, геофизические исследования

Турьинский медный рудник был открыт приблизительно в конце 18 века и являлся основным поставщиком меди в России. В 1920 г. шахты рудника были законсервированы (затоплены). В 1930 г. работа Турьинского рудника была восстановлена, вследствие чего в 1980 г. была проведена реконструкция стволов ш. «им. С.М. Кирова», «Капитальная» и «Никитинская». Ствол шахты «им. С.М. Кирова» предназначен для выполнения вспомогательных операций, также в стволе размещено лестничное отделение и трубопровод водоотлива, по которому велась откачка воды со всего Турьинского медного рудника.

Сечение ствола прямоугольное, площадь сечения ствола в свету составляет S_{cB} =7,7 м², глубина ствола 425 м, где он сбит с выработками ТМР лишь одним горизонтом гор. 425 м на отметке -210 м [1]. Ствол закреплен деревянной крепью, состояние которой на сегодняшний день неизвестно. Данные по размеру воротника ствола отсутствуют.

15 ноября 2011 года в 23:00 произошел прорыв воды на отметке -20 м ствола шахты «им. С.М. Кирова» с разрушением восточной части крепи и вывалом глинистого грунта в ствол. С целью недопущения подобных происшествий была произведена перекрепка нарушенного участка крепи ствола на протяжении 20 м. В июле 2012 года, в связи с продолжающейся деформацией конструкций зданий и сооружений на промплощадке ствола шахты «им. С.М. Кирова», был произведен демонтаж конструкций копра, надшахтного здания и части галереи ствола шахты. 7 апреля 2014 в стволе шахты «им. С.М.Кирова» произошел вывал горной массы, который заполнил приямок зупфового насоса и ствол почти до кровли рудного двора с образованием пробки в стволе шахты. Также произошло оседание земной поверхности вокруг ствола. В связи со сложившейся аварийной ситуацией, 07.04.2014 ООО «ВМК» был произведен демонтаж оставшихся прилегающих построек с засыпкой образовавшегося провала и выравниванием промплощадки ствола.

Ствол шахты «им. С.М. Кирова» находится в аварийном состоянии, и необходимо ликвидировать его согласно правилам РД 07-291-99 «Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами», с возведением двух перекрытий из железобетона или металлических балок, одно из которых устанавливается на глубине залегания ко-
ренных пород, но не менее 10 м от земной поверхности, а другое – на уровне земной поверхности [2].

Образовавшаяся пробка из грунта и обломков крепи не дает полностью засыпать ствол шахты, вследствие чего для ликвидации разрушенного ствола необходимо произвести научно-исследовательскую работу по определению глубины расположения пробки, состояния вмещающих пород, чтобы оценить возможность ее устранения и выполнения необходимых мероприятий по требуемой процедуре его ликвидации. Для решения поставленной задачи были произведены натурные геофизические исследования горного массива вблизи ствола и непосредственно над образовавшейся пробкой [3].

Для зондирования горного массива около ствола шахты «им. С.М. Кирова» использовался комплекс геофизических методов: метод спектральной сейсморазведки (метод спектрального сейсмопрофилирования, ССП) и георадарного зондирования [4, 5].

Метод спектральной сейсморазведки основан на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива. Физические основы метода подробно описаны в размещенных на сайте разработчика метода работах (www.newgeophys.spb.ru). Метод спектрального сейсмо-профилирования хорошо работает в комплексе с георадарным зондированием.



Рис. 1. Схема расположения профилей зондирования промплощадки ствола шахты им. С.М. Кирова

Основой метода георадарного зондирования (георадиолокации) является отражение электромагнитной волны от границ между средами, имеющими различные электрофизические свойства.

Комплексное геофизическое зондирование с использованием георадара «ОКО-2» и комплекса ССП было выполнено по двадцати двум профилям, образующим сетку вблизи ствола и над ним. Расположение сетки профилей зондирования с интервалом между профилями 3 м показано на рисунке 1.

На данных, полученных при проведении спектрального сейсмопрофилирования (ССП) и георадарного зондирования, возможно структурировать массив от поверхно-



сти и до глубины 100 м. В качестве образца проанализируем спектральное изображение сейсмосигналов профиля №16, проходящего непосредственно по поверхности пробки, над стволом шахты «им. С.М. Кирова» (рис. 2).

Рис. 2. Профиль спектрального сейсмопрофилирования (ССП) №16

На интервале глубин от 0 м до 20-25 м, исходя из величины добротности гармонических составляющих сейсмосигнала, можно утверждать, что граница залегания коренных пород находится предположительно на глубине 20-25 м от поверхности.

Зоны с наименьшей добротностью сейсмосигнала обозначены зеленым цветом, это области деструкторизованного массива, повышенная нарушенность которого обусловлена проводимыми ранее горными работами на Турьинском медном руднике.

По спектральному изображению сейсмосигнала на профиле №16 между 4 и 8 м по горизонтальной оси и на глубине 50-55 м прослеживается скачок добротности сейсмосигнала, что свидетельствует о резкой смене величины сцепления между породами и наличием границы в массиве пород с разной степенью структурной нарушенности. Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что верхняя граница пробки находится на отметке 50-55 м от поверхности. Второй скачок данного сейсмосигнала наблюдается на глубине 77-87 м, тем самым обозначая нижнюю границу пробки в стволе.



Рис. 3. Схема ликвидации ствола шахты «им. С.М. Кирова» в аксонометрии

Проанализировав 22 профиля геофизического зондирования массива вблизи ствола шахты «им. С.М. Кирова», можно сделать выводы:

- Граница скальных пород находится на глубине 20-25 м от поверхности;
- Верхняя граница пробки в стволе шахты находится на глубине 50-55 м;
- Нижняя граница пробки в стволе шахты находится на глубине 77-87 м.

Для устранения образовавшейся в стволе пробки необходимо произвести вскрышные работы с поверхности и до глубины 87 м. Поскольку обрушенная в ствол порода разрушила крепь, расстрелы, лестничный ходок и коммуникации, велика вероятность того, что на глубине более 100 м могла образоваться еще одна пробка. Также высока вероятность того, что при засыпке ствола образуется новая пробка по причине высокой захламленности ствола. Отсюда следует, что полную засыпку ствола «им. С.М. Кирова» произвести крайне проблематично.

Сложившаяся на стволе шахты «им. С.М. Кирова» ситуация делает невозможным процесс ликвидации ствола по всем правилам инструкции РД 07-291-99, в результате чего были разработаны организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасную ликвидацию нарушенного ствола с учетом его состояния на данный момент.

В связи с невозможностью вскрытия ствола, ликвидацию ствола шахты «им. С.М. Кирова» произвести с сооружением двух прочных железобетонных перекрытий без засыпки ствола до земной поверхности (рис. 3). На рисунке 3 представлен ствол шахты «им. С.М. Кирова» в аксонометрии со схемой деформаций массива на глубинах 20, 30, 40, 50 и 60 м, изображенных изолиниями.

Первое перекрытие обустроить, увеличенное по контуру ствола не менее 1 м (3200х5700 мм) на глубине залегания коренных пород, около 20 м от поверхности.

Второе перекрытие заглубить за зону промерзания, около 2 м от поверхности, чтобы обеспечить его долговечность. Размеры второго (верхнего) перекрытия опреде-

ляются, исходя из угла воронкообразования, который составляет 85°. Следовательно, размеры второго перекрытия должны составлять 3600х6100 мм [2].

Толщину перекрытий определить в проекте расчетным путем, исходя из принятых материалов (металлические балки, бетон, арматура и т.д.) и их характеристик. Нагрузку определить исходя из веса налегающих пород, на первой – между перекрытиями, на второй – из веса пород до поверхности. После возведения перекрытий и засыпки их сверху грунтом, вокруг устья ствола следует установить ограждение высотой не менее 2,5 м.

Таким образом, следуя разработанным рекомендациям к инструкции о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами, можно обеспечить безопасную ликвидацию ствола шахты «им. С.М. Кирова» с учетом его аварийного состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надеин А.Г. Турьинский медный рудник // Материалы научно-практической конференции, посвященной 150-летию Евграфа Степановича Федорова. – Краснотурьинск, 2004. – С. 24-25.

2. Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации производственных объектов, связанных с пользованием недрами (РД 07-291-99).

3. Боликов В.Е. Усовершенствованная технологическая схема проходки сопряжений ствола с горизонтом в массивах со сложными горно-геологическими условиями / В.Е. Боликов, И.Л. Озорнин, Т.Ф. Харисов // Материалы Международной научно-практической конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений», г. Екатеринбург, 14-16 октября 2009 г. – Екатеринбург: УГГУ, 2009. – С. 35-40.

4. Замятин А.Л. Экспериментальные исследования состояния массива горных пород на объектах недропользования [Текст] // Сетевое периодическое научное издание «Проблемы недропользования» – 2014. – №2 – С. 29-33.

5. Усанов С.В., Мельник В.В., Замятин А.Л. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения [Текст] // Физикотехнические проблемы разработки полезных ископаемых. –2013. – № 6. – С. 83-89.

STUDY OF STATE INDUSTRIAL SITE AND MINE SHAFTS ENGINEERING AND GEOPHYSICAL METHODS

Zamyatin Alexey Leonidovich, Kharisov Timur Faritovich Institute of Mining of Ural branch of RAS, Ekaterinburg A.zamyatin@mail.ru

Abstract. By results of the geophysical surveys executed on a shaft of mine «S.M. Kirov» the stopper depth from soil and fragments was defined support in the broken shaft and a depth of radical breeds. Proceeding from the obtained data, according to RD 07-291-99 "The instruction about an order of conducting works on elimination and preservation of the hazardous production facilities connected with use of natural resources" the recommendations providing elimination of a shaft of mine taking into account its critical condition were developed.

Keywords. Shaft of mine, elimination, violations support, deformation of the massif, geophysical surveys.

УДК 550.837 О ПРИМЕНЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Зубриков Александр Андреевич, Шаньшеров Александр Николаевич ПГНИУ, г. Пермь zubrikoff92@gmail.com, shansherovAlex@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрена активно развивающаяся методика электроразведки, основанная на индукционном эффекте с использованием промышленных магнитных полей.

Ключевые слова. Промышленное электромагнитное поле, индукция, зондирование

Техногенные электромагнитные поля промышленных частот, создаваемые физическими токонесущими объектами (линиями электропередач, силовыми кабелями и др.), представляют интерес для электроразведки в плане использования их в качестве источника полезной информации об изучаемом геологическом разрезе. Эти поля обладают относительно высокой стабильностью во времени и слабым затуханием с расстоянием.

Электротехническая промышленность является мощным источником электромагнитных полей, формируемых при производстве электрической энергии, передаче ее на большие расстояния, подключении различных потребителей, преобразователей и распределителей. Эти поля, проникая вглубь земли, способны нести определенную информацию о ее строении. Наиболее актуальной данная задача становится при необходимости прогноза возможных негативных техно-геологических ситуаций в условиях высокоурбанизированных территорий, крайне неблагоприятных для применения традиционных методов геофизики. Возможность использования данных полей привлекает внимание многих исследователей [3, 4 и др.].

Источниками промышленных электромагнитных полей являются различные электросетевые объекты: линии электропередач, трансформаторные подстанции, преобразователи и регуляторы мощности, промышленное оборудование, индукционные печи, выпрямители, распределители электрической сети, электротранспорт и др. Данные поля помимо основной частоты 50 (60) Гц содержат набор кратных ей гармоник. Причиной появления гармоник является наличие нелинейных процессов, возникающих при подключении различных видов нагрузки к линии основного источника – линии электропередач [5]. Мировая практика, в том числе система спутниковых наблюдений, показывает, что число таких гармоник может достигать 80-90 (т. е., диапазон частот промышленных полей может составлять от 50 Гц до 3-5 кГц) [5]. В отдельных случаях наблюдаются и субгармоники – синусоидальные колебания со значениями ниже фундаментальной частоты. Как показывает опыт ведения работ, при наличии стандартной аппаратуры, удается фиксировать до 10-15 гармоник в интервале частот от 50 до 1000 Гц.

Такое многообразие источников, отличающихся по мощности, пространственному положению, разной удаленности от точки наблюдения, насчитывающих сотни и даже тысячи единиц в пределах промышленного региона (к примеру, в восьми промышленных районах Пермского края насчитывается более 12 000 трансформаторных подстанций и линий ЛЭП, имеющих протяженность более 45 000 км), крайне затрудняет использование классических методов анализа наблюденного электромагнитного поля, основанных на теории решения прямых задач для отдельно заданного источника поля.

Повышение проявления индукционного эффекта должно происходить с увеличением скорости изменения амплитуды первичного поля в единицу времени. Величина скорости определяется соотношением расстояния r от точки наблюдения до источника с длиной волны λ . Очевидно, что чем больше величина изменения амплитуды гармонически меняющегося поля при смещении фазового фронта на расстояние r, тем сильнее проявление индукционного эффекта. Наибольшим изменениям амплитуды поля соответствует расстояние r больше длины волны λ , а при уменьшении r до величины меньшей длины волны скорость изменения поля снижается.

В теории переменных электромагнитных полей эта особенность электромагнитного поля раскрывается с помощью понятий ближней и дальней зон, характеризующих величину отношения расстояния от источника до точки наблюдения к длине волны (r/λ) [1, 3, 4]. В случае $r < \lambda/2\pi$ поле отвечает ближней зоне, при $r > \lambda/2\pi$ – дальней зоне. При непосредственной близости точки наблюдения к источнику ($r << \lambda$) магнитное поле становится неинформативным – теряется его зависимость от частоты и электрического сопротивления среды [1, 4]. Наибольшие проявления индукции характерны для дальней зоны.

Целью данной работы являлось изучение возможностей, совершенствование технологии полевой съемки методом ТЭМП и оценка достоверности получаемых результатов.

При проведении съемки методом ТЭМП в каждой точке наблюдения осуществлялась непрерывная регистрация трех компонент магнитного поля по трем ортогональным направлениям: Hx(t), Hy(t), Hz(t) с осью ОХ, ориентированной на север. Диапазон времени регистрации сигнала составлял 30-60 с при частоте дискретизации 10 кГц. Запись регистрируемых сигналов проводилась в одноканальном режиме. Для обработки наблюденных компонент электрического и магнитного полей с целью получения информации об изменении во времени амплитудно-частотных характеристик электромагнитного поля в качестве базовой была использована программа Spectrogram. С помощью данной программы осуществлялся спектральный анализ поля с получением амплитудных характеристик для используемого набора частот с последующей трансформацией в эффективное сопротивление.

Обработка и интерпретация результатов электрического зондирования осуществлялась с помощью автоматизированной интерактивной системы ЗОНД. Был выполнен комплекс работ, включающий первичную обработку полевого материала, качественную интерпретацию, анализ параметрического материала, количественную интерпретацию и графическое представление результатов.

В качестве примеров зависимости изучаемых разрезов были использованы имеющаяся геологическая информация и результаты съемки традиционными методами электроразведки – метод ВЭЗ и метод КЭП.

Результаты съемки методом ВЭЗ достаточно хорошо согласуются с данными ТЭМП.

Для контроля и заверки пространственного положения аномалии, выполнялись повторные наблюдения методом ТЭМП с вдвое уменьшенным шагом между пикетами (25 м вместо ранее использованного 50 м) и методом профилирования (ЭП) встречными трех-электродными установками AMN-MNB. Профилирование проводилось при разносе питающей линии AB=540 м, контролирующей приповерхностную часть солевых отложений до глубин 130–140 м. Наблюдения велись вдоль профиля.

Графики электропрофилирования, полученные встречными установками AMN-MNB, зафиксировали аномальное проявление, характерное для узкой, распространяющейся на глубину проводящей зоны субширотного направления, с наклоном в южном направлении (рис. 2). Угол наклона данной зоны составляет примерно 75–85°. Эта зона слабо, но устойчиво отмечается по данным метода ТЭМП.



Рис. 1. Карты электрических сопротивлений для соляной части разреза по данным метода ТЭМП в интервале глубин 150-180 м (*слева*) и ВЭЗ в интервале глубин 130-150 м (*справа*)



Рис. 2. Карта и разрез электрических сопротивлений по данным ТЭМП (вверху), графики сопротивления при профилировании встречными трех-электродными установками AMN-MNB (внизу) для эффективной глубины 130-140 м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваньян Л.Л. Основы электромагнитных зондирований. – М.: Недра, 1965. – 109 с.

2. Егоров М.Н., Карвелис Г.А., Маляревский К.В. Использование электрического поля промышленных токов для геологического картирования // Методы разведочной геофизики. Вопросы электроразведки рудных месторождений. – Л.: НПО «Геофизика», 1977.

3. Заборовский А.И. Электроразведка. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 423 с.

4. Колесников В.П. Электрометрия. Основы теории переменных электромагнитных полей – Пермь: ПГНИУ, 2013. – 185 с.

5. Колесников В.П. К обоснованию применения промышленных электромагнитных полей для решения геологоразведочных задач // Вестник Пермского университета. Геология. – 2013. – Вып.4(21).

6. Матвеев Б.К. Электроразведка. – М.: Недра, 1990. – 368 с.

INDUSTRIAL APPLICATION OF MAGNETIC FIELDS IN THE STUDY OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Zubrikov Alexander, Shansherov Alexandr PSU, Perm zubrikoff92@gmail.com, shansherovAlex@gmail.com

Abstract. This article describes a technique electrometry progressing based on the induction effect using industrial magnetic fields. **Key words.** Industrial electromagnetic field induction, sensing

УДК 550.832, 550.8.05

КОНТРОЛЬ ИСТОЧНИКОВ ОБВОДНЕНИЯ ПРИ КАРОТАЖЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Иванов Данил Борисович ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург acrost@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты исследования сейсмоакустической эмиссии, возникающей в нефтенасыщенной пористой геологической среде при силовом акустическом воздействии в скважине. Показано, что динамические нелинейные процессы в продуктивном пласте активизируются при внешнем упругом воздействии на залежь и изменяют энергетическое состояние среды, которое отражается в изменении акустической эмиссии. Определены параметры сейсмоакустической эмиссии, однозначно связанные с характером насыщенности продуктивного пласта и его проницаемостью.

Ключевые слова: нелинейная геофизика, скважина, насыщенность, сейсмоакустическая эмиссия, акустическое воздействие

Неразрывная связь процессов формирования залежей углеводородов с полем постоянно действующих упругих колебаний является фундаментальной основой технологии использования упругих свойств среды и параметров сейсмоакустического поля для разработки способов их обнаружения и извлечения. На использовании этой связи основан метод нелинейной геофизики для поисков и детализации обнаружения углеводородов в процессе разработки месторождения. Метод основан на изменении ФЕС продуктивного пласта под действием внешних физических полей и регистрации эмиссии, которая сопровождает этот процесс. Испытания акустического воздействия на продуктивный пласт на примере терригенных продуктивных отложений с целью восстановления проницаемости пласта коллектора показали ее высокую эффективность [1, 2].

Вторая часть технологии основана на анализе информации об эмиссионных эффектах в поровом пространстве, которые возникают при акустическом воздействии и сопровождают процесс увеличения проницаемости коллектора [3-8]. Эмиссия упругой энергии в пласте обусловлена естественными процессами, а также процессами, вызванными различными видами искусственного воздействия на него. Источником акустической эмиссии в данном случае служит область продуктивного пласта, подвергнутая облучению таким силовым акустическим полем, параметры которого эффективно влияют на изменение фильтрационно-емкостных свойств. Эти изменения происходят как в ближней зоне пласта, так и в удаленной. Из этого следует, что источник акустической эмиссии также располагается в этих зонах, что особенно важно для оценки истинного насыщения продуктивного пласта. Сейсмоакустическая эмиссия (САЭ) представляет собой процесс излучения упругих волн в результате обратимых или частично обратимых изменений структуры твердых тел под влиянием внешних и внутренних факторов различной физической природы, таких как локальные перераспределения напряжений, образование новых трещин, дегазация, изменение фазового состояния, а также гидродинамических процессов в насыщенной пористой среде.

Технология повышения проницаемости коллектора в акустическом поле большой интенсивности, с удельной мощностью не менее 1 Вт/см², является существенной причиной возникновения наведенной сейсмоакустической эмиссии в широком диапазоне параметров излучения по энергии и частоте (САЭ), которая характеризуется такими основными параметрами, как энергия и частота эмиссионного сигнала (E, f).

Соотношение энергии, вызванной САЭ с проницаемостью нефтенасыщенного коллектора терригенного типа, отражает прямую зависимость между приростом энергии и величиной проницаемости, что и является диагностическим признаком наличия нефти в коллекторе [3].

Объединение двух функций: излучение мощного акустического поля и прием слабых эмиссионных сигналов в скважине в течение одного технологического цикла, позволило получить новую качественную информацию об энергетических процессах в коллекторах и их связи с наличием и извлечением нефти [4, 5].

Динамические процессы, вызванные акустическим воздействием (AB) в насыщенной флюидами горной среде, отражаются в характере изменений параметров САЭ в процессе облучения силовым акустическим полем. Излучение акустического поля и прием сигналов САЭ производится устройствами, расположенными в одном скважинном геофизическом приборе, который может перемещаться по стволу скважины в процессе исследований скважин. Излучение и запись разнесены во времени в повторяющихся циклах в соответствии с заданным алгоритмом работы аппаратуры.

По результатам геолого-геофизической информации, промысловых испытаний на приток нефти из этих пластов и сопоставления с данными каротажа САЭ установлено, что их продуктивность определяется поровыми и трещиноватыми типами коллекторов, которые различным образом выделяются по доминирующим частотам и динамике их энергии после акустического воздействия. Коллекторы с проницаемостью 2-12 мД обладают доминантными частотами (6-9 кГц) и имеют прирост 30-40% энергии сейсмоакустической эмиссии относительно фоновой, при испытаниях на приток в двух



скважинах они обеспечили дебит 34-40 тонн в сутки нефтью с обводненностью, не превышающей 2%.

Рис. 1. Изменение доминантных частот в выбранном интервале перфорации. Тевлинско-Русскинское месторождение

При акустическом воздействии происходит изменение частотного состава дискретных импульсов. Анализируя все дискретные импульсы на записях САЭ, можно выделить доминантную частоту для конкретных точек записи в пределах выбранного интервала перфорации. Пример такого определения представлен на рис. 1. Обозначения на рис. 1: SAEF – график изменения доминантной частоты фоновой записи САЭ; SAEV1 – график изменения записи САЭ после первого акустического воздействия; SAEV2 – график изменения записи САЭ после второго акустического воздействия.

Энергия САЭ определялась в отношении к фоновой энергии, измеренной до акустического воздействия. Энергия после акустического воздействия определялась как суммарная энергия высокочастотной составляющей сигнала САЭ, измеренной с шагом 0,5 метра по глубине скважины.

В коллекторах с проницаемостью 220 мД и 444 мД происходит существенное увеличение энергии САЭ после воздействия, что согласуется с данными на графиках (рис. 2). В нижнем интервале пласта изменение энергии имеет более сложный характер и включает как увеличение энергии, так и ее уменьшение после воздействия. В непроницаемых интервалах между пластами коллекторами изменение энергии носит отрицательный характер. Последнее, вероятно, связано со снятием механических напряжений в непроницаемой и ненасыщенной горной породе при акустическом воздействии.

Основные параметры сейсмоакустической эмиссии, которые используются при геологической интерпретации, показаны в таблице 1.



Рис. 2. Соотношение энергии вызванной САЭ с проницаемостью коллектора

В результате исследований в технологическом цикле регистрация-воздействиерегистрация были получены следующие параметры сигналов САЭ: измеренная амплитуда ускорения в скважине на глубине 2500-2900 м составляла Am = $(3.3-3.59) \cdot 10-3$ м/c²; амплитуда скорости, вычисленная на частоте максимального ускорения в диапазоне 8.52-11.2 кГц, Vm = $5.06 \cdot 10^{-9} - 5.48 \cdot 10^{-8}$ м/с. При средней плотности горной породы 2200 кг/м³ и скорости звука 3000 м/с, можно оценить удельную плотность энергии САЭ величиной W = $2.8 \cdot 10^{-14} - 3.3 \cdot 10^{-12}$ Дж/м³ и плотность потока энергии I = $7.9 \cdot 10^{-11} - 5.4 \cdot 10^{-8}$ Вт/м².

Таблица 1

Параметр	Обозначение	Единица измерения
Энергия сигнала	Е	M^2/c^4
Интенсивность	Ι	шт/сек
Амплитуда сигнала	Am	м/c ²
Доминирующие частоты	Fd(j)	Гц
Спектральная плотность мощности	P(f)	$M^2/(c^4 \cdot \Gamma \mu)$
Плотность энергии	W	Дж/м ³

Основные параметры сейсмоакустической эмиссии

Таким образом, сейсмоакустическая эмиссия, вызванная силовым акустическим воздействием в скважине, значительно превышает фоновую эмиссию нефтенасыщенного пласта и способна таким образом служить информативным фактором его продуктивности. Динамические нелинейные процессы в продуктивном пласте находят свое отражение в постоянно действующем излучении упругой энергии в сейсмическом и акустическом диапазоне частот, что следует из анализа фоновых записей САЭ. При этом любое внешнее упругое воздействие на залежь вызывает активизацию таких процессов становления и релаксации состояний насыщенного порового пространства, например фильтрации, дегазации, фазовой проницаемости и др., при условии наличия углеводородов сложного состава и воды. Эти процессы неизбежно изменяют энергетическое состояние среды, которое отражается в изменении акустической эмиссии, связаны с основными фильтрационно-емкостными свойствами продуктивного пласта и являются надежным информационным признаком геологической интерпретации.

Автор выражает благодарность за помощь в написании статьи д.г-м.н. Иголкиной Галине Валентиновне и к.т.н. Дрягину Вениамину Викторовичу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митрофанов В.П., Терентьев Б.М., Злобин А.А. Петрофизическое обоснование акустического стимулирования процессов вытеснения нефти водой // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1998. – №9. – С. 22-27.

2. Митрофанов В.П., Дзюбенко А.И., Нечаева Н.Ю., Дрягин В.В. Результаты промысловых испытаний акустического воздействия на призабойную зону пласта // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1998. – № 10. – С. 29-35.

3. Дрягин В.В. Сейсмоакустическая эмиссия нефтепродуктивного пласта // Акустический журнал. – 2013. – том 59, №6. – С. 744-751.

4. Дрягин В.В. Способ определения характера насыщенности коллектора. Патент РФ № 2187636 от 21.02.2001.

5. Дрягин В.В., Кузнецов О.Л., Стародубцев А.А., Рок В.Е. Поиск углеводородов методом вызванной сейсмоакустической эмиссии // Акустический журнал. – 2005. – Т. 51. Выпуск Геоакустика. – С. 66-73.

6. Хисматуллин Р.К. Динамика напряженно-деформированного состояния горной породы при разных типах насыщенности // Вестник Самарского ГУ. Естественнонаучная серия. – 2007. – №9/1(59). – 233 с.

7. Беляков А.С., Гамбурцев А.Г., Лавров В.С., Николаев А.В., Приваловский Н.К. Инициирующие вибровоздействия и сейсмическая эмиссия горных пород // ДАН Физика земли. – 1996. – №2. – С. 68-74.

8. Позняков В.А. Интенсивность рассеянных волн – новый сейсмический атрибут для прогноза фильтрационно-емкостных свойств нефтенасыщенного коллектора // ДАН Геофизика. – 2005. – том 404, №1. – С. 105-108.

CONTROL OF SOURCE OF WATER TROUBLES DURING THE SEISMIC ACOUSTIC EMISSION LOGGING

Ivanov Danil

Institute of geophysics, Ural branch of RAS, Yekaterinburg acrost@mail.ru

Abstract. The results of studies of seismic acoustic emission occurring in the oil-saturated porous geological environment with acoustic impact force in the well. It is show that the dynamic nonlinear process in the reservoir activated when the external elastic impact on deposit and as a consequence alter the energy state of the environment, which is reflected in the change of the acoustic emission. The parameters of the seismic acoustic emissions uniquely associated with the character of the productive formation saturation and permeability. **Keywords**: nonlinear geophysics, well, saturation, seismic acoustic emission, acoustic impact

УДК 550.34 РЕГИСТРАЦИЯ *Т*-ФАЗ ОТ АРКТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ХРЕБТА ГАККЕЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ «ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА»

Иванова Екатерина Владимировна ССМ СРП ГС РАН, г. Архангельск kredalamber@yandex.ru

Аннотация. На записях заполярной сейсмостанции ZFI фиксируются гидроакустические волны, т.н. *Т*-фазы, от арктических землетрясений с хребта Гаккеля, по причине наличия оптимальных условий их регистрации: параллельного расположения склона-«генератора» – южного борта хребта, и склона-«приемника» – континентального склона архипелага. Ключевые слова. *Т*-фаза, хребет Гаккеля, сейсмостанция ZFI.

С конца 2011 года в составе Архангельской сейсмической сети станций работает заполярная сейсмическая станция «Земля Франца-Иосифа» (код в Архангельской сейсмической сети ZFI) [6, 7]. Анализ ее записей дает богатый материал для исследования сейсмических процессов приполярных областей [6, 9, 10]. Одним из интересных фактов оказалось наличие на записях станции «третичной» высокочастотной фазы от некоторых арктических землетрясений – т. н. «фазы Т» [6, 8]. Фазы Т – гидроакустические волны, которые могут возбуждаться землетрясениями в протяженных и глубоких водоемах, особенно в тех, где существуют звуковые каналы, и распространяться вдоль водного слоя, покрывая значительные расстояния без существенных потерь [11]. Свое название они получили от того, что регистрируются в качестве третьей (лат. tertia) короткопериодной фазы, после фаз P (primae) и S (secondae), по предложению американского сейсмолога Лайнхэна в 1940 г., обнаружившего их в конце 30-х годов ХХ века на сейсмограммах пуэрто-риканских землетрясений, записанных на станции Фордхэм (северо-восток США), с помощью недавно установленных короткопериодных сейсмографов системы Беньоффа. В общем случае волны Т определяются как колебания с частотой от 1-2 до примерно 150 Гц, возникающие при подводных или прибрежных землетрясениях, распространяющиеся сквозь водную оболочку Земли со скоростью звука в воде, и записывающиеся гидрофонами или сейсмографами на островных и прибрежных станциях [12].

Основы представлений о волне T были заложены американскими исследователями Толстым и Юингом в 50-х гг. ХХ века, к их работам подключились многие другие сейсмологи, и к 70-м годам были выявлены основные благоприятные для регистрации фазы T комбинации «очаг землетрясения – сейсмическая станция», составлены мировые карты с нанесением мест регистрации фаз T сейсмическими и гидроакустическими станциями, относительно основных и второстепенных сейсмическими станциями, был выявлен факт того, что необходимым условием проникновения T-волн в твердую оболочку Земли и, соответственно, фиксирования их на записях сейсмостанций, является то, чтобы звуковой канал, по которому распространяется волна T, упирался в материковый (островной) склон (именно поэтому T-фазы фиксируются на островных и прибрежных станциях), а в оптимальном случае – был заключен между двумя склонами, склоном-«излучателем» и склоном-«приемником», параллельными и расположенными друг напротив друга [12].

В 60-е гг XX века регистрация фаз T на записях гидроакустических и сейсмических станций вновь вызвала интерес исследователей, в связи с проблемой обнаружения и идентификации подземных и подводных ядерных взрывов [там же; 2]. В процессе исследования фаз T от землетрясений и взрывов на Атлантическом и особенно на Тихом океанах выявилась большая перспективность гидрофонов не только для анализа самой фазы T, но и для детального изучения с ее помощью сейсмичности отдельных зон, в частности, островных дуг, по сравнению с сейсмографами. Параллельно с этими исследованиями, были описаны волны T, возбуждаемые извержениями подводных вулканов; проанализировано явление отражения волн от подводных склонов; предложены математические модели описания волн T [12].

На сегодняшний день фазы T (в основном по записям гидрофонов) успешно используются на акваториях для локации низкомагнитудных землетрясений [4, 5], с последующим анализом данных для прогноза сильных землетрясений и цунами [4, 12, 13], для изучения вулканической активности [4], в мониторинге ядерных взрывов [2, 4] и техногенных катастроф [4], а также в исследованиях, связанных с анализом механизмов очагов землетрясений и сейсмичностью межплитных зон; интересны записи волн T, генерируемые «сходом» айсбергов: их можно использовать для оценки опасности возникновения цунами в случае подводного оползня [там же].

Для Арктических и приарктических территорий наблюдение фаз *T* теоретически возможно на территории Скандинавии и арктических архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа [12]. Для Скандинавии исследование *T*-фаз, записанных аналоговыми сейсмостанциями Скандинавского полуострова в течение почти 15 лет, с 1953 по 1968 гг., было выполнено сотрудником Шведского сейсмологического института Маркусом Ботом [2]. Эпицентры землетрясений, сгенерировавших *T*-фазы на записях скандинавских станций, относились к области сейсмоактивного хребта Книповича. В исследованиях были проанализированы для сравнения *T*-фазы от сильного землетрясения с эпицентром в экваториальной области Срединно-Атлантического хребта и нескольких подводных ядерных взрывов вблизи берегов Норвегии.



Рис. 1. Местоположение сейсмостанции «Земля Франца-Иосифа» относительно подводного арктического хребта Гаккеля, по данным батиметрической карты Арктики (www.ngdc.noaa.gov)

Литературных сведений о регистрации фаз T на сейсмических станциях арктических архипелагов до установки станции ZFI на острове Земля Александры на сегодняшний день найти не удалось. Таким образом, записи станции ZFI представляют исключительный интерес для наблюдений волн T от арктических землетрясений. Почти сразу было выявлено, что такой особенностью отличаются землетрясения с эпицентрами в районе подводного арктического хребта Гаккеля (рис. 1) [6, 8].

За период наблюдений декабрь 2011 – июнь 2014 гг. на сейсмограммах станции ZFI было зарегистрировано свыше 30 событий с фазой *T*, что составляет порядка 10% от числа всех зарегистрированных событий с хребта Гаккеля. Приблизительно в трети случаев волна *T* была ярко выражена и видна на записях без применения фильтрации (рис. 2); в остальных случаях она обнаруживалась при «прицельной» фильтрации разработанными на основе анализа спектров записей полосовыми фильтрами 2-8 и 3-6 Гц [там же].



Рис. 2. Нефильтрованные записи фаз землетрясения 07 апреля 2013 года с хребта Гаккеля тремя каналами сейсмостанции ZFI

Фаза T на сейсмограммах станции ZFI выглядит классическим образом – представляет собой длинный цуг колебаний без четкого вступления, с почти постоянным периодом и с веретенообразной огибающей; не имеет вступления и поэтому начинается с колебаний, постепенно «выходящих» из-под уровня помех [12]. Отличить на записи фазу T от возможных поверхностных волн в большинстве случаев не представляет труда: по времени прихода на станцию этим колебаниям соответствует скорость порядка 1.5 км/с, что соответствует гидроакустической волне давления, распространяющейся со скоростью звука в воде [11, 13]. Поверхностные волны Рэлея и Лява имеют скорость порядка 4-4,5 км/с и должны приходить намного раньше.



Рис. 3. Эпицентры землетрясений на хребте Гаккеля, сгенерировавшие *T*-фазу на записях станции ZFI, сопоставленные с данными батиметрической карты Арктики (www.ngdc.noaa.gov)

Координаты эпицентров землетрясений с фазой *T*, полученные при сводной обработке сейсмических станций архипелагов Земля Франца-Иосифа и Шпицберген, с использованием регионального годографа BARENTS [3], представлены на рисунке 3.

Видно, что эпицентры событий, сгенерировавших волну *T*, практически равномерно распределены вдоль всего склона хребта, не образуя сколько-нибудь значимых скоплений (аналогично были распределены и эпицентры всех событий, зарегистрированных ZFI с хребта Гаккеля за весь рассматриваемый промежуток времени). Цепочка эпицентров в целом неплохо повторяет контур островного склона архипелага (см. рис. 1), что подтверждает наличие оптимальных условий регистрации *T*-волн в данном случае: параллельное расположение друг к другу наклонных поверхностей – южного борта хребта Гаккеля и континентального склона архипелага.

Анализ распределения по сезонам года событий с T-фазой на записях показал, что их число колеблется в соответствии с изменением общего числа зарегистрированных событий (рис. 4). Последнее обусловлено как сейсмическим режимом исследуемого региона, так и сезонными изменениями чувствительности заполярных станций [14], наиболее вероятно, соответственно ежегодным колебаниям уровня микросейсмических шумов. Отсутствие ярко выраженного сезонного распределения землетрясений с Tфазой позволяет сделать вывод о том, что возможность передачи волн T по подводным звуковым каналам для рассматриваемого региона присутствует равновероятно в течение всего года.



Рис. 4. Распределение количества землетрясений с хребта Гаккеля по месяцам за весь период наблюдений

Магнитуда (локальная ML, измеренная по записям станции ZFI) событий с зарегистрированной T-фазой составила от 2.9 до 4.3. При этом для всех событий с хребта Гаккеля минимальная магнитуда составила 1.4, процентное соотношение событий с магнитудами в диапазонах 1.4-2.9 и свыше 2.9 составило 62% и 38% соответственно. Таким образом, зарегистрированные события с T-фазой для землетрясений с магнитудой свыше 2.9 составляют порядка 27% от их общего числа, т.е. почти каждое четвертое достаточно сильное землетрясение генерирует фазу T, фиксируемую на ZFI. В принципе, допустима мысль о том, что такая частота генерации волн T является представительной для всех землетрясений из указанной зоны, в случае же более слабых событий (с магнитудой ниже 2.9) фаза T просто не видна на записи из-под микросейсмического фона, либо быстро затухает из-за малой энергии.

Глубину очагов землетрясений со всего хребта Гаккеля принято считать небольшой и примерно одинаковой, порядка 15-20 км [1]. Поскольку фазы T возникают от землетрясений с очагами именно вблизи дна океана [11], то можно ожидать наблюдения фаз T от большей части землетрясений с хребта Гаккеля. Имеющаяся же статистика позволяет сделать вывод о том, что наиболее вероятной и главной причиной присутствия волн *T* на записях станции ZFI являются все же благоприятные условия передачи волны в звуковом канале (параллельность береговой линии архипелага и участков хребта) для каждой пары точек очаг-станция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Avetisov G.P. Seismically active zones of the Arctic. – St. Petersburg: VNIIOkeangeologia, 1996. – 186 p.

2. Bath M., Shahidi M. T-Phases from Atlantic Earthquakes // Pure Appl. Geophys. – Vol.92. – 1971/IX. –P. 74-114.

3. Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic Location Calibration of the European Arctic // Pure and applied geophysics. – 2001. – N.158. – P. 117–128.

4. Odom R.I., Stephen R.A. Proceedings, Seismo-Acoustic Applications // Marine Geology and Geophysics Workshop, Woods Hole Oceanographic Institution, 24–26 March 2004. – Technical Report APL-UW TR 0406. – 58 p.

5. Sohn R.A., Hildebrand J.A. Hydroacoustic earthquake detection in the Arctic Basin with the Spinnaker Array // Bull. seism. Soc. Am. -2001. -91(3). -P. 572-579.

6. Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Морозов А.Н. Сейсмическая активность Арктической зоны: новые данные по Западному сектору // Проблемы Арктики и Антарктики. – No.2. – 2013. – Санкт-Петербург: Государственный научный центр РФ "ААНИИ" Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – С. 16-25.

7. Данилов А.В., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В. Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России // Сейсмические приборы. – 2013. – Т.49, № 3. – С. 5-24.

8. Конечная Я.В. Анализ записей региональных и локальных землетрясений по данным сейсмической станции «Земля Франца-Иосифа» // Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. науч. мат. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – С. 161-165.

9. Конечная Я.В. Анализ сейсмичности в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». – Архангельск: САФУ им. М.В. Ломоносова, 2013. – №1. – С. 10-13.

10. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Конечная Я.В. Новые данные о сейсмичности и скоростной структуре земной коры перехода «континент-океан» в Баренцево-Карском регионе Арктики // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Междунар. сейсмологической школы / Отв. редактор А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 231-235.

11. Соловьев С.Л., Белавин Ю.С., Кадыков И.Ф., У Тон Иль Регистрация фаз Т в сигналах землетрясений северо-западной части Тихого океана // Вулканология и сейсмология. – №1. – 1980. – С. 60-69.

12. Соловьев С.Л., Воронин Р.С., Воронина С.Н. Сейсмические и гидроакустические данные о волне Т (обзор литературы). // В сб.: Проблема цунами. – М., «Наука», 1968.

13. У Тон Иль, Табояков А.А., Храмушин В.Н. Методические разработки прогноза сильных землетрясений гидроакустическими методами // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана. – Вып. 1. – 2005. – С. 49-59.

14. Французова В.И., Иванова Е.В., Конечная Я.В. Сезонные вариации в регистрации сейсмических событий заполярными станциями Архангельской сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Междунар. сейсмологической школы / Отв. редактор А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 332-335.

SEISMIC ACQUISITION OF THE *T*-WAVES FROM THE ARCTIC GAKKEL RIDGE EARTHQUAKES ON THE SEISMIC OBSERVATIONS POINT "FRANZ JOSEF LAND"

Ivanova Ekaterina SSM NRP GS RAS kredalamber@yandex.ru

Abstract. On seismic records of polar seismic station ZFI recorded hydroacoustic waves, so-called *T*-phase, from the Arctic Gakkel Ridge earthquakes, due to the presence of optimal conditions for their registration: parallel arrangement of the slope-«generator» – the southern side of the ridge, and slope-«receiver» – the continental slope of the archipelago. **Key words.** *T*-phase, Gakkel Ridge, seismic station ZFI.

УДК 553.98:553.041:552.578:550.8.05 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТА НА ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАТЕРИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ВЕРХНЕЮРСКОГО НГК ЮЖНОЙ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Искоркина Альбина Альбертовна¹, Исагалиева Айгуль Калиевна², Стоцкий Виталий Валерьевич¹ ¹НИ ТПУ, г. Томск iskorkina.a@mail.ru, stotskiy_vv@sibmail.com ²Ka3HTV, г. Алмата a isagalieva@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – определить влияние векового хода температур на земной поверхности (палеоклимата) на геотермический режим баженовской свиты. Оценка влияния выполнена на основе анализа вариабельности результатов палеотемпературного моделирования. Установлено, что реконструкции термической истории материнских отложений без учета палеоклимата не согласуются с данными отражательной способности витринита и нефтегазоносностью месторождений Томской и Новосибирской областей. Использование при реконструкциях «местного» векового хода температур, построенного для южной палеоклиматической зоны, уточняет показатель плотности ресурсов.

Ключевые слова: палеоклимат, палеотемпературное моделирование, нефтематеринская баженовская свита; ресурсы, Томская и Новосибирская области

Введение. Подсчет ресурсов углеводородов (УВ) определяется на основе реконструкции геотемпературного режима нефтематеринских отложений. Накоплен значительный исследовательский материал, показывающий влияние векового хода температур земной поверхности (палеоклимата) на термическую историю нефтематеринских отложений [6]. Ученые и специалисты, занимающиеся моделированием термической истории осадочных бассейнов, принимают во внимание вековой ход температур на поверхности Земли [2 и др.]. Применяемый здесь вековой ход температур можно условно назвать «стандартным», т.к. он не учитывает особенностей региональных палеоклиматических зон [3].

Цель наших исследований – оценить влияние палеоклимата на геотермический режим баженовских отложений юга Западной Сибири, на примере районов нефтепромыслов Томской и Новосибирской областей. Оценка выполняется на основе анализа вариабельности результатов палеотемпературных реконструкций при трех основных допущениях: 1) палеоклимат не учитывается; 2) палеоклимат учитывается по «стандартному» вековому ходу температур; 3) палеоклимат учитывается по «местному» вековому ходу температур; 5] для южно-сибирской палеоклиматической зоны.

Основным критерием адекватности и предпочтительности результатов при 3-х допущениях выступает лучшая согласованность максимума расчетных геотемператур с температурами «максимального палеотермометра» – температурами, определенными по отражательной способности витринита (ОСВ).

Характеристика объекта. Моделирование палеогеотемпературных условий для баженовских отложений выполнено для осадочных разрезов глубоких скважин Лугинецкой 183 и Верх-Тарской 7 (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема территории исследований: *I* – структуры: а – I порядка, б – II порядка; *2* – реки; *3* – исследуемые скважины: Лу-183 – Лугинецкая 183, ВТ-7 – Верх-Тарская 7; *4* – административная граница между Томской и Новосибирской областями

В Томской области нефтепромыслы сосредоточены главным образом в Нюрольской мегавпадине и на структурах ее обрамления. Основным источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового нефтегазоносных комплексов (НГК) являются нефтематеринские породы баженовской свиты (J_{3v}). На Лугинецком месторождении залежи УВ связаны в основном с верхнеюрскими коллекторами (горизонт Ю₁).

В Новосибирской области Верх-Тарское месторождение нефти является наиболее крупным. Промышленно-нефтегазоносными комплексами являются верхнеюрский

(горизонт Ю₁) и палеозойский (пласт М). Основным источником УВ для залежи горизонта Ю₁ служит рассеянное органическое вещество баженовской свиты.

Методика. Для восстановления термической истории баженовской свиты применен метод палеотемпературного моделирования [4], наиболее полно учитывающий изменения во времени параметров геотермополя, в том числе влияния палеоклимата. Одно из краевых условий модели определяется температурой поверхности осадконакопления и задается в виде кусочно-линейной функции векового хода температур на поверхности Земли.

Схема расчета палеотемператур состоит из двух этапов. На первом по распределению температур T_i в скважине рассчитывается тепловой поток q через поверхность подстилающего основания, т.е. решается обратная задача геотермии. На втором этапе с известным значением q решаются прямые задачи геотермии – непосредственно рассчитываются температуры U в любых заданных точках осадочной толщи Z в любые заданные моменты геологического времени t.

Таблица 1

	Вековой :	ход тем-		Геотемпературы баженовской свиты, °С			ты, ⁰С
	ператур на по-						
	верхности Земли,		Глубина		F	Учет па-	Учет па-
Время,	°C	2	положе-	Без учета	Без учета	леоклимата	леоклимата,
млн. лет	«Стан-	«Мест	ния баже-	палеокли-	палеокли-	«стандарт-	«местный»
назад	дарт-	ный»	новской	мата (Ва-	Mara, 063	ный» ход	ход темпера-
	ный»		свиты, м	риант 1)	(Bapuaur 2)	температур	тур (Вариант
					(Dapuari 2)	(Вариант 3)	4)
0	+2	0	2441	88	82	85	82
0,005	+2	+3	2441	88	82	85	82
0,03	+2	-2	2441	88	82	85	81
0,05	+2	-1	2440	88	82	85	81
0,07	+2	-4	2440	88	82	85	80
0,09	+2	-1	2440	88	82	85	81
0,11	+2	-4	2440	88	82	85	81
0,13	+2	-1	2439	88	82	85	80
0,15	+2	-4	2439	88	82	85	81
0,19	+2	-9	2439	88	82	85	82
0,21	+2	-6	2438	88	82	85	83
0,235	+2	-10	2438	88	82	85	82
0,24	+2	0	2438	88	82	85	84
1,64	+2	+1	2421	87	82	84	84
3,1	+2	+2	2421	87	82	84	86
3,2	+2	+2	2420	87	82	85	87
3,8	+5	+12	2420	87	82	87	93
4,7	+4	+3	2420	87	82	86	86
5,2	+4	-3	2420	87	82	86	87
5,7	+4	+7	2420	87	82	86	90
6,3	+4	+10	2420	87	82	86	91
7	+4	+4	2420	87	82	86	87
20	+7	+15	2419	87	82	89	98
24	+8	+16	2419	87	81	90	99
31,5	+9	+17	2302	82	77	86	95
32,3	+10	+16	2289	82	77	87	94
34	+12	+15	2276	81	76	88	92
37,6	+15	+14	2250	80	75	90	90
41,7	+19	+12	2219	79	74	94	87

Расчетные геотемпературы баженовской свиты скважины Верх-Тарская 7

42	+20	+11	2218	79	74	94	86
46	+21	+8	2203	78	73	94	82
54,8	+21	+19	2169	77	72	93	92
58	+20	+24	2160	76	72	92	97
61,7	+20	+22	2149	76	71	91	94
73	+20	+15	2045	72	67	87	84
73,2	+20	+16	2043	72	67	87	84
86,5	+20	+22	1981	69	65	85	87
89,8	+20	+22	1819	63	59	79	82
90	+20	+23	1815	63	59	79	82
91,6	+20	+22	1786	59	55	76	79
114,1	+20	+21	940	31	29	49	50
118	+20	+19	939	31	29	49	48
120,2	+20	+19	938	31	29	49	48
132,4	+20	+19	265	9	8	28	27
136,1	+20	+19	214	7	6	26	25
145,8	+20	+19	29	1	1	21	20
Расчетный тепловой поток q , мВт/м ²			52	49	49	49	

Таблица 1. Продолжение

Примечание. Заливкой показаны температуры главной зоны нефтеобразования (ГЗН), темной заливкой – абсолютный палеотемпературный максимум ГЗН, серой заливкой – относительные палеотемпературные максимумы ГЗН

Для решения обратной задачи геотермии – определения теплового потока из основания *q* в качестве «наблюденных» используем как измерения пластовых температур, полученные при испытаниях скважин, так и палеотемпературы, рассчитанные по ОСВ.

Результаты реконструкций геотермического режима баженовской свиты и их анализ. Решение прямых задач геотермии выполнено на 46 ключевых моментов геологического времени, соответствующих временам начала/завершения формирования каждой свиты и точкам «излома» векового хода температур на земной поверхности (см. табл. 1). По геотемпературному критерию главной зоны нефтеобразования (ГЗН) [1] выделены очаги интенсивной генерации баженовских нефтей.

Таблица 2

Гли Изме-			Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
ТЛУ- бица	ренные	Способ	Расчет-	Раз-	Расчет-	Раз-	Расчет-	Раз-	Расчет-	Раз-
ойна,	темпера-	измерения	чет-	ница,	чет-	ница,	чет-	ница,	чет-	ница,
IVI	туры, °С		ные, ⁰С	°C	ные, ⁰С	°C	ные, ⁰С	°C	ные, ⁰С	°C
			Скв	ажина Л	угинецкая	i 183				
2200	77	Пластовые	85	+8	78	+1	80	+3	80	+3
2350	84	Пластовые	90	+6	83	-1	85	+1	85	+1
2345	98	По ОСВ	84	-14	-	-	93	-5	94	-4
Скважина Верх-Тарская 7										
2485	85	Пластовые	89	+4	84	-1	86	+1	83	-2
2485	86	Пластовые	89	+3	84	-2	86	0	83	-3
2488	80	Пластовые	89	+9	84	+4	86	+6	83	+3
2735	106	По ОСВ	89	-17	-	-	99	-7	108	+2

Сопоставление измеренных и расчетных геотемператур

Анализ термической истории баженовской свиты в разрезах скважин свидетельствует о том, что в Варианте 1 (без учета палеоклимата) материнская свита «пережила» самую короткую и самую холодную главную фазу нефтеобразования (ГФН). Если при этом не учитывать и данные ОСВ – Вариант 2, то баженовская свита практически как бы и не входила в ГЗН. Последнее не согласуется с установленной нефтегазоносностью пласта Ю₁. В Вариантах 3 и 4 с учетом палеоклимата баженовская свита имеет «богатые», но разные термические истории ГФН. Сопоставление расчетных и измеренных геотемператур в скважинах (табл. 2) показывает, что в Варианте 1 (без учета палеоклимата) «невязка» решения обратной задачи геотермии достигает 14-17°С. Что является неприемлемым результатом. Далее, если данные ОСВ исключить (Вариант 2), то имеет место минимальная «невязка». Эта согласованность кажущаяся, т.к. получаемая при этом термическая история (см. табл. 1) не согласуется с результатами испытаний пласта Ю₁. В случае учета палеоклимата и данных ОСВ (Варианты 3 и 4) «невязки» решений обратных задач приемлемы, т. к. измеренные и расчетные геотемпературы имеют погрешность порядка $\pm 2^{\circ}$ С. Можно отметить, что «невязки» в случае учета палеоклимата по «местному» ходу температур на земной поверхности (Вариант 4) заметно меньше.

Заключение. На примере районов нефтепромыслов Томской и Новосибирской областей показано, что неучет палеоклимата не позволяет адекватно восстановить термическую историю нефтематеринских отложений. Установлено, что при определении ресурсов УВ на землях юга Западной Сибири предпочтительно применять «местный» вековой ход температур на земной поверхности, построенный для южной палеоклиматической зоны Западной Сибири. Это позволит более корректно учесть историю главной фазы нефтеобразования и не завышать/занижать прогнозные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурштейн Л.М., Жидкова Л.В., Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1070–1078.

2. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный Мир, 2007. – 456 с.

3. Гольберт А.В. Основы региональной палеоклиматологии. – М: Недра, 1987. – 222 с.

4. Исаев В.И. Интерпретация данных гравиметрии и геотермии при прогнозировании и поисках нефти и газа. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 172 с.

5. Исаев В.И., Рылова Т.Б., Гумерова (Искоркина) А.А. Палеоклимат Западной Сибири и реализация генерационного потенциала нефтематеринских отложений // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 93–102.

6. Лобова Г.А., Осипова Е.Н., Криницина К.А., Останкова Ю.Г. Влияние палеоклимата на геотермический режим и нефтегенерационный потенциал баженовской свиты (на широтах Томской области) // Известия ТПУ. – 2013 – Т. 322. – № 1. – С. 45– 50.

THE ASSESSMENT INFLUENCE OF PALEOCLIMATE ON A GEOTHERMAL MODE OF MATERNAL DEPOSITS AND OIL-AND-GAS CONTENT UPPER JURASSIC NGK FOR THE SOUTHERN PALEOCLIMATE ZONE OF WESTERN SIBERIA

Iskorkina Albina Albertovna¹, Isagalieva Aigul Kalievna², Stotskiy Vitaliy Valeriyovych¹ ¹National research Tomsk polytechnic university, Tomsk iskorkina.a@mail.ru, stotskiy_vv@sibmail.com ²Kazakh national technical university name K.I. Satpaeva, Almaty a_isagalieva@mail.ru

Abstract. The purpose of researches is to determine influence of a century course of temperatures of a terrestrial surface (paleoclimate) on a geothermal

mode of Bazhenov suite. The assessment influence is executed on the basis of analysis variability of results of paleotemperature modeling. It is established that reconstruction of thermal history of the maternal deposits without taking into account paleoclimate will not be coordinated with data of reflective ability vitrinite and oil-and-gas content of a field of Tomsk and Novosibirsk areas. Use at reconstruction of a "local" century course of temperatures is constructed for the southern paleoclimate zone, an indicator of density of resources. **Key words:** the paleoclimate, paleotemperature modeling, petromaternal Bazhenov suite; the resources, Tomsk and Novosibirsk areas

УДК 550.36:553.041:553.98 ГЕОТЕРМИЯ КАК МЕТОД РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ (НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕОКОМА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Искоркина Альбина Альбертовна¹, Исагалиева Айгуль Калиевна², Лузянин Владислав Алексеевич¹ ¹НИ ТПУ, г. Томск iskorkina.a@mail.ru, vlad_luzyanin@mail.ru ²Ka3HTV, г. Алмата a isagalieva@mail.ru

Аннотация. Объект исследований – баженовские нефтематеринские отложения, ачимовский резервуар неокома. Построены карты толщин коллекторов. Методом палеотемпературного моделирования оценено распределение плотности генерированных нефтей. Построены карты распределения плотности аккумулированных ресурсов. Продемонстрирована методика прогнозирования, основанная на данных геотермии как метода разведочной геофизики.

Ключевые слова: геотермия, моделирование, баженовские отложения, ачимовский резервуар, плотность ресурсов нефтей, Нюрольская мегавпадина

Введение. Геотермия – это не только область теоретической геофизики, но и формирующийся метод разведочной геофизики [1, 2 и др.], дающий важнейшую количественную информацию и при решении фундаментальных проблем [3 и др.], и в региональных исследованиях [4 и др.], и в прогнозно-поисковых работах [5 и др.]. Особая ценность данных геотермии проявляется в проводимых прогнозно-поисковых нефтегеологических исследованиях [6 и др.]. Ценность состоит в том, что на начальном этапе исследований по геотемпературному критерию определяются очаги генерации нефти. Так решается концептуальная задача о «главном источнике» углеводородов, решение которой определяет эффективность стратегии поисков.

Приводимые ниже результаты призваны продемонстрировать технологию использования данных геотермии в решении прикладной задачи нефтегазовой геофизики. Это определение первоочередных районов (участков) для поисков и освоения неокомского (ачимовского) резервуара юго-востока Западной Сибири.

Метод палеотемпературного моделирования. Для прогноза очагов генерации углеводородов применен метод палеотемпературного моделирования [6], наиболее полно учитывающий изменение во времени параметров геотермополя: в математиче-

скую модель непосредственно включены палеклимат – вековой ход температур на земной поверхности (граничное условие) и палеотемпературы определений отражательной способности витринита (ОСВ), как «наблюденные» ($t\neq 0$).

В модели процесс распространения тепла в слоистой осадочной толще описывается начально-краевой задачей для уравнения

$$\frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial Z} \left(\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \right) = f , \qquad (1)$$

где λ – теплопроводность; a – температуропроводность; f – плотность тепловыделения внутренних источников тепла; U – температура; Z – расстояние от основания осадочного разреза; t – время. С краевыми условиями

$$U|_{Z=\mathcal{E}} = U(t), \tag{2}$$

$$-\lambda \frac{\partial U}{\partial Z}\Big|_{Z=0} = q(t), \tag{3}$$

где $\varepsilon = \varepsilon(t)$ – верхняя граница осадочной толщи; q(t) – тепловой поток из основания осадочного разреза. Как видно из формулировки задачи, палеотектонические реконструкции непосредственно сопряжены с расчетом палеотемператур.

Осадочная толща описывается мощностями стратиграфических комплексов h_i , для каждого из которых заданы теплопроводность λ_i , температуропроводность a_i , плотность тепловыделения радиоактивных источников f_i в породах осадочного разреза и время осадконакопления t_i (рис. 1). Скорость осадконакопления v_i может быть нулевой и отрицательной, что позволяет учитывать перерывы осадконакопления и денудацию.





Краевое условие (2) определяется температурой поверхности осадконакоплении, т.е. определяется палеоклиматом, и задается в виде кусочно-линейной функции векового хода температур на поверхности Земли.

В случае стационарности глубинного теплового потока *q*, решение обратной задачи определяется из условия:

$$\sum_{i=1}^{k_t} \left(U\left(Z_i, t, q\right) - T_i \right)^2 \xrightarrow{q} \min, \qquad (4)$$

где T_i – «наблюденные» значения температур в k_t точках на различных глубинах Z_i в моменты времени t. Здесь задача решается в предположении постоянства значения плотности теплового потока из основания, начиная с юрского времени. Решение обратной задачи (4) строится с учетом того, что функция U(Z,t,q), являющаяся решением прямой задачи (1) с краевыми условиями (2) и (3), в этом случае линейно зависит от q. Поэтому неизвестный параметр q определяется однозначно.

Схема моделирования состоит из двух этапов. На первом этапе по распределению «наблюденных» температур T_i в скважине рассчитывается тепловой поток q через поверхность подстилающего основания, т. е. решается обратная задача геотермии. На втором этапе, после расчета значения q, создается и реализуется возможность расчета геотемператур (путем решения прямых задач) в любой точке геологического разреза скважины на любой момент геологического времени.

Балансовая модель процессов нефтегазообразования [7] позволяет по геотемпературному критерию выполнить выделение и картирование очагов интенсивного образования нефтей из РОВ материнских отложений: с 85-95°С – вхождение материнских пород в главную зону нефтеобразования (ГЗН).

Таким образом, применение метода палеотемпературного моделирования обеспечивает системный подход к изучению территории исследований. Выполняется анализ и количественная интерпретация всего комплекса геолого-геофизических данных о геологическом строении, о тектоно-седиментационной истории и термическом режиме всех осадочных комплексов, включая материнские отложения.

Характеристика объекта исследований. Продуктивными комплексами являются меловой, верхнеюрский, среднеюрский, нижнеюрский и палеозойский. На территории исследований открыто 49 месторождений УВ (рис. 2А).

Источником формирования залежей УВ в ловушках верхнеюрского и мелового НГК является рассеянное органическое вещество (РОВ) сапропелевого типа отложений баженовской свиты.

Меловой НГК характеризуется преимущественным развитием неантиклинальных ловушек литологического и комбинированного типов. В юго-восточной части Западной Сибири (Томская область) с востока на запад выделяется ряд палеогеоморфологических обстановок осадконакопления: континентальная, прибрежно-морская, мелководно-шельфовая, склоновая и депрессионная. Склоновую принято называть клиноформной частью морских отложений неокома. Обобщенное развитие клиноформных неокомских отложений для Нюрольской мегавпадины и обрамляющих ее положительных структур показано на рис. 3.

Картирование очагов генерации баженовских нефтей. На рис. 2Б приведена схематическая карта распределения расчетных значений *плотности теплового потока из основания осадочного чехла*. Карта построена путем интерполяции значений теплового потока, полученного решением обратной задачи геотермии в моделях распространения тепла 39 глубоких скважин (рис. 2А).

На втором этапе исследований в моделях восстановлена термическая история баженовских отложений на моменты начала/завершения формирования свит меловой и палеоген-четвертичной систем. На эти времена, путем интерполяции геотемператур в разрезах скважин, построены схематические карты *распределения геотемператур отложений баженовской свиты* (рис. 4). По геотемпературному критерию выделены *очаси интенсивной генерации баженовских нефтей*. Учитывая, что РОВ баженовской свиты сапропелевого типа, пороговая температура, определяющая границу очага генерации нефтей, принята 85°С.



Рис. 2. Схематические карты нефтегазоносности (А) и плотности теплового потока из доюрского основания (Б) Нюрольской мегавпадины: 1 – месторождения: а – нефтяное, б – конденсатное, в – газовое; 2 – граница Нюрольской мегавпадины; 3 – структура III порядка и ее условный номер; 4 – речная сеть; 5 – исследуемая скважина (палеотемпературное моделирование); 6 – условный номер месторождения мелового НГК; 7 - граница зоны распространения тогурской свиты; 8 – изолинии значений расчетной плотности теплового потока, мВт/м².



Рис. 3. Схематические карты изопахит клиноформ по циклитам неокома (А) и суммарных толщин ачимовского резервуара (Б) Нюрольской мегавпадины. Мощности клиноформ циклитов, м: 1 – Первомайского, 2 – Лонтынь-Яхского, 3 – Столбового, 4 – Вахского, 5 – Назинского, 6 – Нюрольского, 7 – Казанского; 8 – суммарные толщины, м.



Рис. 4. Схематические карты распределения геотемператур и положения очагов интенсивной генерации баженовских нефтей 91,6 (А); 86,5 (Б); 61,7 (В); 37,6 (Г); 24,0 (Д) млн. лет назад, современный разрез (Е): 1 – геоизотерма, °С; 2 – контур очага.

Оценка плотности ресурсов генерированных баженовских нефтей. Для оценки величины плотности ресурсов генерированных нефтей в каждой из 39-ти скважин для материнских баженовских отложений рассчитан условный интегральный показатель (*R*) по формуле [6]:

$$R = \sum_{i=1}^{n} (U_i t_i \cdot 10^{-2}), \qquad (5)$$

где U_i – расчетная геотемпература очага генерации нефти (ГЗН), °С; t_i – интервальное время действия очага – нахождения материнских отложений в ГЗН; количество вре-

менных интервалов *n* определено числом интервалов геологического времени нахождения материнских отложений в ГЗН.

Районирование ачимовского резервуара по плотности ресурсов. Путем интерполяции значений условного интегрального показателя *R* построена схематическая *карта распределения плотности генерированных баженовских нефтей* (рис. 5А). Учитывая суммарные толщины ачимовских отложений (рис. 3Б) и плотность ресурсов генерированных нефтей (рис. 5А), построены *карта распределения плотности первичноаккумулированных нефтей* ачимовского резервуара (рис. 5Б).



Рис. 5. Схематические карты распределения плотности ресурсов (усл. ед.) генерированных (А) и первично-аккумулированных (Б) баженовских нефтей в ачимовском резервуаре Нюрольской мегавпадины; 1 – изолинии значений относительной плотности генерированных нефтей; 2 – изолинии значений относительной плотности первично-аккумулированных нефтей.



Рис. 6. Схема районирования ачимовского резервуара Нюрольской мегавпадины по плотности ресурсов баженовских нефтей. 1–4 – районы (номер ранжирования; диапазон значений плотности ресурсов, усл. ед.): 1. – 20...35, 2. – 15...25, 3. – 5...20, 4. – менее 5; 5 – границы районов.

На рис. 6 представлена схема районирования ачимовского резервуара. Земли юго-восточного склона Каймысовского свода, зона сочленения Чузикско-Чижапской и Шингинской мезоседловин, 30-километровая полоса субмеридиального простирания в центральной части Нюрольской мегавпадины могут быть рекомендованы для первоочередного изучения нефтегазоносности ачимовского резервуара.

Заключение. Проведенные исследования и их результаты определили первоочередные участки поисков залежей нефти в ачимовском резервуаре неокома и продемонстрировали технологию и ценность привлечения данных геотермии, как метода разведочной геофизики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаев В.И. Интерпретация данных гравиметрии и геотермии при прогнозировании и поисках нефти и газа: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 172 с.

2. Ахметов Е.М. Геофизика әдістеріне кіріспе: оқу құралы. – Алматы: КазҰТУ, 2014. – 117 с.

3. Vogt C., Mottaghy D., Rath V., Marquart G., Dijkshoorn L., Wolf A., Clauser C. Vertical variation in heat flow on the Kola Peninsula: palaeoclimate or fluid flow? // Geophysical Journal International. – 2014. – Vol. 199. – P. 829–843.

4. Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В., Леонов Ю.Г., Подгорных Л.В., Поляк Б.Г., Сухих Е.А., Цыбуля Л.А. Геотермия арктических морей / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2013. – 232 с.

5. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный Мир, 2007. – 456 с.

6. Осипова Е.Н., Лобова Г.А., Исаев В.И., Старостенко В.И. Нефтегазоносность нижнемеловых резервуаров Нюрольской мегавпадины // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 14–33.

7. Бурштейн Л.М., Жидкова Л.В., Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Модель катагенеза органического вещества (на примере баженовской свиты) // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 1070–1078.

GEOTERMICS AS A METHOD OF EXPLORATION GEOPHYSICS (CASE STUDY OF PETROLEUM RECOURCES EVALUATION FOR NEOCOMIAN SEQUENCE OF WEST SIBERIA)

Albina A. Iskorkina¹, Aigul K. Issagalieva², Vladislav A. Luzyanin¹ ¹National Research Tomsk Polytechnical University iskorkina.a@mail.ru, vlad_luzyanin@mail.ru ²Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev a isagalieva@mail.ru

Abstract. Object under the study is the Bazhenov oil-source suite, Neocomian Achimov reservoir. Constructed reservoir's isopach maps. Using method evaluated density distribution of generated oil. Constructed maps for density of accumulated resources. Demonstrated technology of prediction, based on geothermic data, as a method of Exploration Geophysics.

Key Words: geothermic, modeling, Bazhenov suite, Achimov reservoir, density of oil resources, Nyurol mega-depression

УДК 550.34 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МУЛЬТИ-ФРАКТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА НА КАМЧАТКЕ В 2011-2014 ГГ.

Касимова Виктория Александровна

КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский vika@emsd.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты анализа пространственновременного распределения мульти-фрактальных параметров низкочастотного сейсмического шума на Камчатке, зарегистрированного на сети широкополосных станций. Основное внимание уделяется особенностям распределения параметров шума в периоды сильных локальных землетрясений 2013 г.

Ключевые слова: низкочастотный сейсмический шум, землетрясение, временные ряды, спектр сингулярности, обобщенный показатель Херста

Введение. Низкочастотные сейсмические колебания, регистрируемые широкополосными сейсмическими станциями, являются важным источником информации о процессах в земной коре. В последнее время они используются не только для классификации сейсмических станций в зависимости от уровня естественных и техногенных шумов, но и в задачах предсказания землетрясений [3-5].

В [4-5 и др.] на примере землетрясений Японии 2003 г. (М=8) и 2011 г (М=9) показана возможность заблаговременного определения районов и времени сильнейших сейсмических событий при использовании многомерных временных рядов регистрации сейсмического шума на сети широкополосных станций и анализа карт распределения параметров мульти-фрактальных спектров сингулярности. Результаты исследования поля сейсмических шумов в Японии показывают, что районы будущих сильных землетрясений выделяются по минимальным средним значениям параметров α^* – обобщенного показателя Херста и $\Delta \alpha$ – ширины носителя спектра сингулярности. В [7] представлены первые результаты применения этой методики для изучения прогностических свойств низкочастотного сейсмического шума, зарегистрированного в 2011-2013 гг. на сети широкополосных сейсмических станций Геофизической службы РАН в районах Камчатки и о-ва Парамушир (рис. 1).

В работе представлены результаты анализа пространственно-временных распределений мульти-фрактальных параметров низкочастотного сейсмического шума: Δα – ширины носителя спектра сингулярности; α* – обобщенного показателя Херста [6, 8] за период наблюдений 2011-2014 гг.

Краткое обоснование метода. Анализ фрактальных и мульти-фрактальных свойств временных рядов данных геофизического мониторинга является одним из перспективных направлений исследования геофизических процессов, протекающих в земной коре [8].

Оценки спектров сингулярности основываются на построении зависимости размаха выборки от ее длины и учитывают эмпирическое соотношении Херста [6]: $R(\tau)/\sigma(\tau)=\tau^{H}$, где $R(\tau)$ – разница между максимальными и минимальными значениями приращений наблюдаемой величины на временном интервале длинной τ , $\sigma(\tau)$ – стандартное отклонение, 0 < H < 1 – показатель Херста. При этом предполагается, что временные ряды сейсмического шума обладают свойством самоподобия [8].



Рис. 1. Схема расположения сейсмостанций (треугольники) и эпицентров сильных землетрясений (кружки) (табл.).

Для самоподобного процесса X(t) среднее значение квадрата приращений выражается как $\langle |X(t+\delta t)-X(t)|^2 \rangle \langle |\delta t|^{2H}$, где δt – шаг по времени. Если допустить зависимость постоянной Херста от времени $\langle |X(t+\delta t)-X(t)|^2 \rangle \langle |\delta t|^{2H(t)}, 0 \langle H(t) \rangle \langle 1,$ то распределение вероятности значений H(t) описывается мульти-фрактальным спектром сингулярности $F(\alpha)$, где α – показатель Гельдера-Липшица [6, 8]. Характеристическими параметрами такого спектра являются: α_{\min} – минимальное значение и α_{\max} – максимальное значение показателя Гельдера-Липшица; $\Delta \alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min}$ – ширина носителя спектра сингулярности; α^* – обобщенный показатель Херста, реализующий максимум спектра сингулярности. Детали вычисления указанных мульти-фрактальных статистик временных рядов подробно изложены в [6, 8].

Методика исследований и результаты. В качестве источников сейсмических данных использовались записи вертикальных компонент движений грунта на канале ВНZ с частотой оцифровки 100 Гц с 01 января 2011 по 31 декабря 2014 гг., полученные на 20-ти широкополосных сейсмических станциях (см. рис. 1), оборудованных трех-компонентной цифровой сейсмометрической аппаратурой: Guralp (Англия): CMG-3TB (частотный диапазон 0.0083-40 Гц), CMG-6TD (0.033-40 Гц); Streckeisen (Швейцария): STS-1 (0.0027-10 Гц), STS-2 (0.0083-40 Гц); Geotech (США): KS-2000 (0.01-40 Гц). Для проведения исследований была создана база данных, включающая непрерывные 1-минутные временные ряды записей по всем станциям [1, 2, 7].

В работе использовался комплекс программ для анализа мульти-фрактальных свойств волновых форм низкочастотного сейсмического шума, созданный д.ф.-м.н. А.А. Любушиным, Институт физики Земли РАН, г. Москва. С использованием предо-

ставленных программ для каждой станции были получены ежесуточные оценки параметров $\Delta \alpha$ и α^* , и созданы ежесуточные grid-файлы их пространственного распределения за весь период наблюдений. На рис. 2 представлены карты распределения осредненных параметров за четыре года.



Рис. 2. Карты распределения мульти-фрактальных параметров Δα и α* за период наблюдений с 01.01.2011 по 31.12.2014 гг.

За время наблюдений в районе Камчатки произошло два сильных (M \geq 6.9) землетрясения (табл.). Для анализа поведения параметров α^* и $\Delta \alpha$ перед этими событиями были построены усредненные карты их распределения за периоды времени 3 и 6 месяцев: с 28.08.2012 по 28.02.2013 гг.; с 24.11.2012 по 24.05.2013 гг.; с 28.11.2012 по 28.02.2013 гг. и с 24.02.2013 по 24.05.2013 гг. Заключения об особенностях поведения параметров сейсмического шума на стадиях подготовки сильных землетрясений основывались на сопоставлении полученных карт (рис. 3) с картой за весь период наблюдений, которая рассматривалась в качестве фоновой характеристики распределения параметров сейсмического шума (см. рис. 2).

Характеристика сильных землетрясений, произошедших в районе Камчатки (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes)

Номер	Пото	Prova	Коорд	инаты	Глибина	Моринтино	
землетря-	дата	Бремя	град.,	град.,	1 лубина,	м	
сения	дд.мм.гтт	44.MM.CC	C.III.	В.Д.	KM	1 v 1 _W	
1	28.02.2013	14:05:50	50.942	157.339	41	6.9	
2	24.05.2013	05:44:49	54.874	153.281	609	8.3	

Полученные карты демонстрируют пространственно-временную эволюцию мульти-фрактальных параметров шума на различных временных масштабах перед произошедшими сильными землетрясениями (пример см. рис. 3) и за весь период наблюдений (см. рис. 2). На всех картах выделяется область пониженных значений параметров α^* и $\Delta \alpha$, в акватории Тихого океана, которая, возможно, указывает на район возникновения следующих сильнейших землетрясений. На картах, построенных для периодов времени полгода и 3 мес. перед сильными землетрясениями 2013 г. (см. табл.), прослеживаются характерные изменения в поведении параметров α^* и $\Delta \alpha$. При этом характер изменений мульти-фрактальных параметров низкочастотного сейсмического шума соответствовал их вариациям перед сильными землетрясениями Японии [4-5 и др.]. Перед землетрясением 28 февраля 2013 г., М=6.9 в области его будущего очага фиксировалась область пониженных значений α^* и $\Delta \alpha$ в течение не менее трех месяцев (рис. 3).



Рис. 3. Карты распределения мульти-фрактальных параметров Δα и α* за полугодовой период (а) и за 3 месяца (б) до землетрясения 28.02.2013 г.

Перед землетрясением 24 мая 2013 г., Мw=8.3, в районе возникновения события, область пониженных значений параметров α^* и $\Delta \alpha$ была выражена слабо. Это может быть связано с тем, что очаг землетрясения находился на глубине более 600 км, т.е. землетрясение было мантийным (см. табл.), и процессы его подготовки практически не

проявлялись в изменениях поля низкочастотного сейсмического шума, зарегистрированного на поверхности земли.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-05-00414 «Новые методы динамической оценки сейсмической опасности на основе анализа случайных флуктуаций геофизических полей», научный руководитель А.А. Любушин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимова В.А., Копылова Г.Н. Спектральная структура низкочастотного сейсмического шума на широкополосных станциях Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Четвертой регион. научнотехн. конф. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 64-68.

2. Касимова В.А., Копылова Г.Н., Таранова Л.Н. Временные ряды данных непрерывной регистрации на широкополосных сейсмических станциях Камчатки и их структура // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. Девятой Междунар. сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 169-173.

3. Любушин А.А. Карты свойств низкочастотных микросейсм для оценки сейсмической опасности // Физика Земли. – 2013. – № 1. – С. 11-20.

4. Любушин А.А. Прогноз Великого Японского землетрясения // Природа. – 2012. №8. – С. 23-33.

5. Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 года. Долгосрочный прогноз по низкочастотным микросейсмам // Геофизические процессы и биосфера. – 2011. – Т. 10. – № 1. – С. 9-35.

6. Любушин А.А. Тренды и ритмы синхронизации мультифрактальных параметров поля низкочастотных микросейсм // Физика Земли. – 2009. – № 5. – С. 15-28.

7. Любушин А.А., Копылова Г.Н., Касимова В.А., Таранова Л.Н. Мультифрактальные характеристики сейсмического шума на Камчатке, 2011-2013 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Четвертой научно-техн. конф. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 382-386.

8. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

THE SPATIAL AND TEMPORAL VARIATIONS OF MULTI-FRACTAL PARAMETERS OF LOW-FREQUENCY SEISMIC NOISE ON KAMCHATKA IN 2011-2014

Kasimova Victoriya KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky vika@emsd.ru

Abstract. We present the results of the analysis of spatial distribution of multifractal parameters of low-frequency seismic noise recorded on the broadband seismic stations on Kamchatka. Focus is on the peculiarities of the distribution parameters of the seismic noise during periods of local strong earthquakes in 2013.

Key words: low-frequency seismic noise, earthquake, time series, singularity spectrum, generalized Hurst exponent

УДК 550.8.056+622.02 УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АНКЕРНОЙ КРЕПИ SWELLEX В УДАРООПАСНЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ОЛЕНИЙ РУЧЕЙ»

Колыгин Александр Геннадьевич, Старцев Юрий Алексеевич ФГБУН ГоИ КНЦ РАН, г. Anamumы akolygin51@yandex.ru, Jstar69@rambler.ru

Аннотация. В сентябре 2014 года на руднике «Олений ручей» ЗАО «СЗФК» проводились опытно-промышленные испытания анкерной крепи Swellex компании Atlas Copco. Для оценки эффективности работы анкеров были проведены ультразвуковые исследования. В данной статье представлены схема проведения измерений и полученные результаты. Ключевые слова: анкерная крепь, ультразвуковые исследования, нарушенная зона

Месторождение «Олений ручей» расположено в юго-восточной части ийолитуртитовой дуги Хибинского массива. Отнесение месторождения «Олений ручей» к склонным и опасным по горным ударам, а также отработка большей части запасов руды подземным способом обуславливают необходимость решения задач по условиям применения различных видов крепи. Снижение устойчивости выработок связано с удароопасностью массива горных пород, что обусловлено высоким уровнем действующих тектонических напряжений, наличием структурно-геологических неоднородностей с одной стороны, и влиянием опорного давления с другой. Ведение горных работ в таких условиях особенно остро ставит вопрос обеспечения гарантированной безопасности и эффективности производства, в связи с чем, проблемы поддержания горных выработок приобретают все большую актуальность [1].

В настоящее время на руднике «Олений ручей», для крепления горных выработок ЗАО «СЗФК» применяют в основном набрызгбетон, а для сопряжений – тросовые анкера.

В рамках совершенствования технологии, увеличения производительности и надежности крепления горных выработок на руднике были проведены испытания анкерной крепи типа Swellex Sp16, представляющих собой тонкостенные трубки гофрированной формы диаметром около 38 мм, которые распираются водой, нагнетаемой под давлением около 240 МПа, до диаметра около 54 мм. Установленный в шпур анкер во время раскрытия передает давление воды в массив, тем самым дополнительно уплотняя его. В результате в приконтурном массиве существенно увеличиваются силы распора и трения между структурными блоками, непосредственно окружающими установленный анкер. Очевидно, что для обеспечения устойчивости приконтурной зоны массива необходимо, чтобы области влияния отдельных анкеров в определённой степени взаимно накладывались друг на друга (рис. 1).

В процессе исследования состояния массива горных пород были проведены ультразвуковые измерения на опытном участке установки анкерной крепи с использованием комплекса УК «Ультразвук» (рис. 2). Комплекс состоит из прибора «Пульсар – 1.2» и ультразвукового зонда, состоящего из 2-х датчиков и нескольких сопутствующих устройств (аккумуляторная батарея, компрессор, досылочные штанги, кабели и пневмошланги, и др.).



Рис. 1 Уплотненный свод горной выработки анкерами Swellex



Рис. 2. Внешний вид комплекса «Ультразвук»

Работа прибора основана на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в массиве горных пород от излучателя к приемнику. Скорость ультразвука вычисляется делением расстояния между излучателем и приемником на измеренное время. Скорость распространения волны, значение которой можно использовать при экспериментальном изучении упругих свойств, трещиноватости и напряженного состояния горных пород в массиве, зависит от плотности, упругости и наличия дефектов. Физические принципы решения указанных задач основаны на применении инвариантных физических величин – скоростей упругих волн, реагирующих как на вариации напряженного состояния, так и на структурные особенности массива горных пород.

Основную информацию о свойствах пород в прискважинной зоне несут продольные (P) и поперечные (S) волны. P-волну отличает относительно малая амплитуда максимальная распространения. скорость При возможности вылеления И *Р*-волны, анализ результатов измерений проводится по ней. Поскольку амплитуда S-волны, как минимум, в несколько раз превышает амплитуду P-волны, то это позволяет уверенно выделить ее на фоне сложной волновой картины, но на величину амплитуды сильно влияет трещиноватость пород в околоскважинном пространстве. С увеличением интенсивности трещиноватости амплитуда S-волны резко уменьшается вплоть до полного исчезновения, что также можно использовать при выделении открытых трещин или их интервалов [2].

Конструкция зонда предусматривает прижим ультразвуковых датчиков к стенкам скважины при помощи сжатого воздуха, нагнетаемого в зонд с помощью компрессора. Зонд перемещается по скважине при помощи досылочных штанг.

При проведении испытаний анкерной крепи на руднике «Олений ручей» применялся скважинный вариант ультразвукового каротажа.

Профилирование при ультразвуковых измерениях осуществлялось с шагом 0,2 м. Измерялись времена прихода первых вступлений *P*-волны от 2-го датчика, который являлся генератором ультразвукового импульса, до 1-го датчика, используемого в качестве приемника сигнала.

Измерения проводились на двух замерных станциях (рис. 3) в районе вентиляционно-сборочного штрека (север). Станции размещены между веерами, предназначенными для установки анкеров, и каждая представляет собой 4 скважины, пробуренных в кровле выработки на расстоянии 1 м друг от друга. Расстояние между станциями также составляет 1 м. Глубина скважин составляет 1,8 м. Шаг измерений – 0,2 м. Измерения размера нарушенной зоны проводились как до установки анкеров, так и после
для того, чтобы оценить эффективность работы гидрораспорных анкеров Swellex по изменению размера нарушенной зоны и по ее упрочнению.



Рис 3. Схема измерительной станции

Графики значений скоростей продольной волны, измеренных на станциях, представлены на рисунках 4 (а, б, в, г) – по первой, и 5 (а, б, в, г) – по второй. Светлым цветом выделены скорости Р-волн до установки анкеров, а темным цветом – после установки анкеров.



Рис. 4. Изменение значений скоростей на первой станции: a) 1-я скважина, б) 2-я скважина, в) 3-я скважины, г) 4-я скважины.



Рис. 5. Изменение значений скоростей на второй станции: a) 1-я скважина, б) 2-я скважина, в) 3-я скважины, г) 4-я скважины.

Как видно из представленных на рисунках 4 и 5 данных, мощной нарушенной зоны или пород с низкими прочностными свойствами, где скорость распространения продольной волны менее 5000 м/с, на данном участке практически не наблюдается. Незначительное увеличение значений скоростей Р-волн в массиве после установки анкеров свидетельствует об их правильной работе, т.е. массив несколько уплотнился, несмотря на то, что испытания проведены в очень крепких породах.



Рис. 6. Вид исследуемого участка выработки

В данный момент выработка находится в неизмененном с момента установки анкеров состоянии, динамических проявлений горного давления и повреждений крепи не наблюдается (рис. 6).

Таким образом, проведение ультразвуковых измерений позволяет контролировать состояние приконтурной зоны и оценивать эффективность установленной крепи. Для получения оценки качества работы крепи во времени необходимо как проведение регулярных измерений, так и дополнение исследований с помощью других оперативных методов (реометрия, телевизионная съемка скважин и т.д.).

Исследования выполнены в рамках гранта по приоритетному направлению деятельности РНФ "Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами" № 14-17-00751 (научн. рук.проф. А.А. Козырев).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по креплению горных выработок на месторождении апатитнефелиновых руд «Олений ручей» / Козырев А.А., Смирнов Ю.Г., Орлов А.О., Семенова И.Э. и др. – Апатиты-Кировск, 2013. – 60 с.

2. Исследование процессов самоорганизации геологической среды в горнорудных природно-технических системах для управления геодинамическими рисками. Отчет о НИР. – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2009.

ULTRASONIC MEASUREMENTS OF ANCHOR SUPPORT SWELLEX UNDER ROCK BURST CONDITION, THE «OLENIY RUCHEY» DEPOSIT

Kolygin Aleksandr, Startsev Juriy MI KSC RAS akolygin51@yandex.ru, Jstar69@rambler.ru

Abstract. In September 2014 at the mine «Oleniy ruchey», North-Western Phosphorus Company, pilot testing was conducted of anchor support Swellex of the Atlas Copco Company. Ultrasonic measurements were carried out to evaluate the effectiveness of the anchors. This paper describes the scheme of measurements and results.

Key words: anchor support, ultrasonic measurements, fractured zone

УДК 550.34.06 СЕЙСМИЧНОСТЬ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ

Конечная Яна Викторовна^{1,2}

¹ГС РАН, г. Архангельск ²ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск arh-seismo@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен анализ исторической сейсмичности в районе архипелага Новая Земля. Проведена обработка сейсмических событий по данным станций Архангельской сети, произошедших 11.10.2010 и 04.03.2014 гг. Ключевые слова: Новая Земля, сейсмическое событие, землетрясение, эпицентр, Архангельская сейсмическая сеть, NORSAR.

Архипелаг Новая Земля (арх. НЗ) – один из самых крупных архипелагов Западной части Арктики. Несмотря на свою удаленность и труднодоступность, Новая Земля является одним из населенных архипелагов Арктики, имеет статус закрытого административно-территориального образования. Постоянное число жителей составляется порядка 2500 человек. Проведение различного рода мониторинга (в т.ч. сейсмического) этого района Арктики весьма важно, поскольку в XX веке на архипелаге проводились ядерные испытания [1, 2]. В настоящее время в районе Карского и Баренцева моря активно ведется разведка нефтяных месторождений.

За весь период инструментальных сейсмологических наблюдений каталог International Seismological Centre (ISC) содержит информацию о 59 сейсмических событиях [3]. Большинство их них – ядерные взрывы, проводимые на полигонах Новой Земли в советское время. Воздушные ядерные испытания были прекращены на архипелаге в 1963 году, последние подземные ядерные взрывы проведены 24 октября 1990 г. [1]. Проанализировав имеющуюся информацию о взрывах в районе Новой Земли [4, 5], из каталога ISC были выбраны данные о сейсмических событиях, не подтвержденных как взрывы и имеющих, вероятно, естественную природу (рис. 1, табл. 1). Все они датируются позже 1990 г., за исключением события №1 (табл. 1).



Рис. 1. Карта эпицентров сейсмических событий в районе арх. Новая Земля за период с 1966–2013 гг. Цифровые обозначения соответствуют № в таблице 1

Сейсмические события, произошедшие в районе арх. НЗ, привлекают специалистов со всего мира на предмет определения их природы. Например, события №1 и № 2 из таблицы 1 классифицируются как землетрясения [4, 6].

Эпицентры сейсмических событий (см. рис. 1) лоцируются либо в акваториях Карского и Баренцева морей (№2, 5, 6, 8), либо у береговой линии (№1, 3, 4, 7, 9). Природа большинства данных событий до сих пор остается открытой для мировой общественности.

Таблица 1

№ на		Время в					
рис.1	Дата	очаге	φ, °	λ, °	h, км	Магнитуда	Источник
1	01.08.1986	13:56:37.07	72.9	55.8	10	mb=4.8	[3]
2	16.08.1997	02:10:59.18	72.6	56.9	10	ML=2.5	[3]
3	23.02.2002	01:21:12.17	74.3	55.8	10	mb=3.0	[3,7]
4	08.10.2003	23:07:19.70	75.6	62.9	-	ML=2.6	[3,7]
5	14.03.2006	20:57:02.40	75.1	53.1	-	ML=2.2	[3,7]
6	30.03.2006	10:46:02.43	70.9	51.0	0	ML=2.3	[3,7]
7	26.06.2007	03:19:19.40	73.4	53.4	-	ML=2.8	[3,7]
8	05.03.2006	23:17:35.73	76.8	64.3	-	ML=2.5	[3,7]
9	11.10.2010	22:48:28.82	76.3	64.3	19.4	mb=4.7	[3,7]

Список сейсмических событий, зарегистрированных в районе Новой Земли за периол с 1986 по 2010 гг.

Событие, произошедшее 11 октября 2010 г. (№9 табл. 1), было зарегистрировано отечественными и зарубежными сейсмологическими центрами, в частности, Службой срочных донесений ГС РАН и норвежским сейсмологическим центром NORSAR, а также некоторыми станциями Архангельской сейсмической сети (ACC). По записям станций «Климовская», «Лешуконское» и «Тамица» в лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН удалось оценить положение эпицентра. На рисунке 2 показаны волновые формы и фрагменты его обработки. С применением фильтра 1.5–3 Гц на всех станциям фазы выделяются уверенно, зашумленность записей небольшая.



Рис. 2. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения на арх. Новая Земля 11.10.2010 г.

Несмотря на малое количество станций АСС, привлеченных в обработку (заполярные станции АСС на тот момент еще не были установлены), применение мирового годографа вместо регионального, полученная разница в локации очага землетрясения незначительна (25 км – между ССД ГС РАН и Архангельской сетью, 50 км – между NORSAR и Архангельской сетью) (табл. 2).

Таблица 2

Сейсмологический центр	Время в очаге	φ, °	λ, °	h, км	Магнитуда	Источник
ССД ГС РАН	22:48:23.7	76.4	64.1	5	mb=4.6	[8]
NORSAR	22:48:31.0	76.1	62.4	-	ML=4.5	[7]
Архангельская сейсмическая сеть	22:48:19.8	76.2	64.6	-	-	[9]
Кольский филиал ГС РАН	22:48:28.8	76.2	63.9	0	ML=4.0	[10]

Основные параметры эпицентра землетрясения на архипелаге Новая Земля 11.10.2010 г. по данным различных сейсмологических центров

Природа данного события, вероятнее всего, тектоническая. По имеющимся данным в районе эпицентра события не существует действующих добывающих предприятий, полигонов и других промышленных объектов. Проверить событие по критериям разделения взрывов и землетрясений [11] в данном случае не представляется возможным, поскольку оно удалено от имеющихся сейсмических станций на значительное расстояние. Однако существует и другое мнение относительно его природы. В [10] авторы обосновывают происхождение события образованием айсберга (т.н. «льдотрясение»). Тем не менее, остается очевидным природное происхождение данного сейсмического события.



Рис. 3. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения на арх. Новая Земля 04.03.2014 г.

4 марта 2014 г. в районе арх. НЗ произошло еще одно сейсмическое событие с магнитудой ML=3.2, которое могло остаться незамеченным, если бы не сотрудники ACC, выделившие его на сейсмических записях. На рисунке 3 приведены волновые формы и фрагмент его обработки. Событие хорошо выделяется на записях станций, расположенных на островных территориях (арх. Шпицберген и арх. Земля Франца-Иосифа), и практически не зарегистрировано континентальными станциями, за исключением северной норвежской сейсмической группы ARCESS (норвежская сейсмологи-

ческая служба NORSAR), станциями KEV (Финская национальная сейсмическая сеть) и «Амдерма» (ACC). Несмотря на то, что станция «Амдерма» является ближайшей к эпицентру, вступления фаз на ее записях очень слабые, первое вступление практически не выделяется, поэтому данные записи были исключены из обработки ввиду их плохого качества. Итоговая обработка проводилась по записям 5 станций (рис. 3).

Отметим, что информация об этом событии не отражена в каталогах других сейсмологических центров (например, ГС РАН, International Seismological Centre и Orfeus). Координаты эпицентра, полученные в NORSAR и в ИЭПС УрО РАН, приведены в таблице 3. Разница в определении эпицентра составляет 15 км, что является хорошей сходимостью при подобном расположении и удаленности станций от очага.

Таблица 3

по данным различных сейсмологических центров						
Сейсмологический	Время в	φ, °	λ°	h, км	Магнитуда	Источник
центр	очаге				-	
NODGID	0440000			0.0		[m]

Основные параметры эпицентра землетрясения на арх. Новая Земля 04.03.2014 г.

центр	очаге	φ, °	λ°	h, км	Магнитуда	Источник
NORSAR	04:42:32.9	74.50	56.82	0f	ML=3.2	[7]
Архангельская сейсмическая сеть	04:42:36.0	74.78	57.30	15f	ML=3.2	[9]

В связи с тем, что в районе арх. НЗ в последнее время наблюдается слабая сейсмичность, становится очевидным важность установки там стационарной сейсмической станции. Это даст возможность более точно определять положения эпицентров сейсмических событий из данного региона. Кроме того, позволит повысить в целом качество сейсмического мониторинга Западно-Арктического сектора России.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ №14-05-93080 и №14-05-98801

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Прекращение ядерных испытаний [Электронный ресурс] – Режим доступа: 1. http://www.un.org/ru/events/againstnucleartestsday/history.shtml#a32 обращения (дата 21.01.2015 г.)

Nuclear [Электронный 2. testing pecypc] _ Режим доступа: http://www.ctbto.org/nuclear-testing/ (дата обращения 21.01.2015 г.)

ISC Bulletin: bulletin search [Электронный ресурс] – Режим 3. доступа: http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/ (дата обращения 26.01.2015 г.)

Ringdal F. Study of Low-Magnitude Seismic Events near the Novaya Zemlya Nuclear 4. Test Site // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 87, No. 6, pp. 1563–1575, December 1997.

Yang X., North R., Romney C. Richards P. Worldwide Nuclear Explosions [Элек-5. тронный pecypc] Режим доступа: http://www.ldeo.columbia.edu/~richards/my papers/WW_nuclear_tests_IASPEI_HB.pdf (дата обращения 26.01.2015 г.)

Bowers D. Was the 16 August 1997 Seismic Disturbance near Novaya Zemlya an 6. Earthquake? // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 6, pp. 2400-2409, August 2002.

NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin [Электронный ресурс] – Режим до-7. ступа: http://norsardata.no/NDC/bulletins/regional/ (дата обращения 27.01.2015 г.)

8. Последние землетрясения по данным ССД [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ceme.gsras.ru/_(дата обращения 26.01.2015 г.)

9. Архангельский сейсмологический стационар-обсерватория (АССО) [Электронный pecypc] – Режим доступа: http://www.iepn.ru/?page=186 (дата обращения 26.01.2015 г.)

10. Виноградов Ю.А., Виноградов А.Н., Кровотынцев В.А. Применение геофизических методов для дистанционного контроля динамики процессов деструкции ледовых покровов Арктики // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. Шестой Межд. Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 87-89.

11. Морозов А.Н. Метод идентификации взрывной сейсмичности на территории Архангельской области // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2008. №1 Выпуск № 11 С. 177-184.

SEISMICITY OF THE NOVAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO: A HISTORICAL REVIEW AND RECENT DATA

Yana Konechnaya^{1,2}

¹Geophysical Survey of RAS, Arkhangelsk ²Institute of Environmental Problem of the North of Ural Branch of RAS, Arkhangelsk arh-seismo@yandex.ru

Summary. The article presents the analysis of historical seismicity in the region of Novaya Zemlya. Processing was carried out seismic events in 2010 and 2014 using data from stations Arkhangelsk seismic network

Key words: Novaya Zemlya, seismic event, earthquake, epicenter, Arkhangelsk seismic network, NORSAR.

УДК 550.382.8 : 550.837

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Косовягина Марина Владимировна ВГУ, г. Воронеж kosovyagina91@mail.ru

Аннотация. Летом 2014 г. на территории музея-заповедника «Костенки» (Воронежская область) в ходе исследований грунтов под строительство нового корпуса музея было обнаружено большое количество костей мамонта. Были проведены археологические раскопки, в ходе которых было найдено жилище древнего человека возрастом около 18 тыс. лет. На территории раскопок были выполнены геофизические исследования. В данной статье представлены результаты магниторазведочных и электроразведочных работ, а также статистического анализа магнитного поля.

Ключевые слова: археологические раскопки, детальная магниторазведка, электропрофилирование, стоянка древнего человека, статистическая анализ магнитного поля Геофизика все чаще с успехом применяется как дополнительный метод при археологических изысканиях, что находит отражение в многочисленных публикациях различных авторов [5, 6]. На территории Воронежской области подобные работы были выполнены кафедрой геофизики ВГУ. В 2011 г. были применены геофизические методы (детальная магниторазведка, электроразведка, георадарные исследования) при археологических раскопках на территории ВГУ [1], в 2012 г. – на двух курганах эпохи бронзы [2]. Работы проводились в непростых условиях – в первом случае культурный слой был погребен под мощной толщей техногенных отложений сложного строения, во втором – курганы располагались в районе строительства транспортной развязки, и время для проведения всех работ, включая раскопки, было очень ограничено. Тем не менее, использование геофизики на данных объектах позволило выявить особенности строения территории раскопок, наметить области, перспективные для проведения археологических раскопок, а также определить местоположение техногенных объектов, которые могли создать трудности при проведении археологических работ.



Рис. 1. Карта остаточных аномалий магнитного поля. Сечение изодинам 25 нТл

В 2014 г. сотрудниками и студентами кафедры геофизики был выполнен еще один комплекс работ на археологическом объекте – на территории стоянки древнего человека Костенки-11. Костенковско-борщевский комплекс представляет собой стоянки древнего человека, относящиеся к каменному веку, сконцентрированные на площади около 30 км². В целях создания охранной зоны в 1965 г. началось строительство музея, который в 1991 г. получил статус музея-заповедника. В 2014 г. при проверке грунта под строительство нового корпуса непосредственно за зданием музея было обнаружено большое количество костей мамонта, что положило начало масштабным археологическим работам, к которым были привлечены и геофизики.

Участок геофизических исследований размером 20*14 м располагался в северозападной части территории, отведенной под раскопки. На данном участке были проведены детальные магниторазведочные работы в комплексе с электроразведочными работами методом электропрофилирования. Методика работ в целом соответствовала [3, 4]. По полученным данным были построены карта остаточного магнитного поля (рис. 1) и карта кажущихся сопротивлений (рис. 2). Выделенные аномалии и неоднородности были сведены в единую схему, наложенную на план участка работ (рис. 3).



Рис. 2. Карта кажущихся удельных сопротивлений. Сечение изоом 1 Ом*м



Рис. 3. Схема выделенных аномалий. Условные обозначения: 1 – границы областей повышенного ρ_к, 2- границы областей пониженного ρ_к, 3 – границы магнитных аномалий

Выделение остаточных аномалий было достигнуто путем вычета трендовой составляющей из наблюденного поля. В полученном магнитном поле выделяются две области, различающиеся по особенностям строения: в южной части участка исследований выделяется несколько магнитных аномалий интенсивностью 400-550 нТл, которые соответствуют локальным объектам, залегающим на небольшой глубине (0,5-0,9 м). Исходя из того, что амплитуды этих аномалий значительные, а их источники располагаются в районе асфальтового покрытия (рис. 3), можно сделать вывод, что данные аномалии имеют техногенное происхождение. В северной части участка магнитное поле относительно равномерное, что свидетельствует об отсутствии интенсивно намагниченных объектов.

Результаты электропрофилирования представлены на рисунке 2. Полученные данные позволили уточнить особенности залегания грунта в северной части участка, где наблюдалось спокойное магнитное поле. Кажущиеся удельные электрические со-

противления изменяются в пределах от 17 до 38 Ом*м, что говорит об относительно однородном строении толщи. Также можно выделить несколько слабоинтенсивных аномалий повышенного (в центральной части) и пониженного (на периферии) кажущегося сопротивления (рис. 3). Предположительно, области повышенных сопротивлений соответствуют наиболее плотным неизмененным грунтам, пониженных – возможным областям грунтов, измененных в процессе человеческой деятельности.



Рис. 4. Карты распределения статистических характеристик: а – эксцесса, б – асимметрии, в – дисперсии

В ходе археологических раскопок были обнаружены кости и несколько черепов мамонта в северной части исследуемого участка, то есть в области спокойного магнитного поля, где неоднородности строения были обнаружены только по данным электропрофилирования. В связи с этим автором данной статьи была предпринята попытка получить из данных магниторазведки дополнительную информацию. Для этого были посчитаны статистические характеристики данного поля в скользящем окне. Размер скользящего окна подобран экспериментально и составил 3*3 точки. Результатом расчета стали карты распределения статистических характеристик – дисперсии, асимметрии и эксцесса (рис. 4). В некоторых случаях это позволяет выявить особенности поля, не прослеживаемые при визуальном анализе.

На карте распределения дисперсии отразились участки, соответствующие наиболее интенсивным по амплитуде магнитным аномалиям. Их форма и расположение в пространстве подтверждают техногенный характер аномалиеобразующих объектов.

Такие статистические характеристики, как эксцесс и асимметрия, позволяют более точно локализовать аномалии, проследить их оси и выявить зоны неоднородностей. Исходя из этого, на данном участке по распределению асимметрии и эксцесса можно выделить две области – северную и южную. В южной части, где сосредоточены магнитные аномалии, распределение эксцесса и асимметрии более равномерное, без сильных перепадов. В центральной же части участка характер распределения эксцесса и асимметрии резко меняется, и можно проследить границу двух областей, которая имеет форму дуги. В северной части участка, где наблюдалось отсутствие интенсивных аномалий и спокойный характер поля, распределение значений указанных статистических характеристик носит хаотичный характер, с большим количеством локальных минимумов и максимумов, по которым можно выделить множество небольших кольцевых структур. Вполне возможно, что это вызвано наличием мелких неоднородностей в толще грунта, в том числе представляющих археологический интерес, которые не оказывают значительного влияния на магнитное поле.

В заключение добавим, что на всей территории раскопок было обнаружено жилище древнего человека диаметром 8-9 м, возрастом около 18 тыс. лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазнев В.Н., Ковалевский В.Н., Аузин А.А., Жаворонкин В.И., Горских П.П., Севостьянов Д.П., Зузи Б.Ф.Б., Косовягина М.В., Молчанов Р.В. Геофизические методы при археологических исследованиях в условиях городской агломерации // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. – Воронеж, 2012. – С. 75-78.

2. Глазнев В.Н., Горских П.П., Жаворонкин В.И., Ковалевский В.Н., Косовягина М.В. Методы археологической геофизики при изучении курганов Воронежской области // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы 2 Всероссийской научно-технической конференции. – Грозный, 2012. – С. 432-437.

3. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка). – М.: Недра, 1981. – 263 с.

4. Инструкция по электроразведке. Наземная электроразведка. Скважинная электроразведка. Шахтно-рудничная электроразведка. Аэроэлектроразведка. Морская электроразведка – М.: Недра, 1984. – 352 с.

5. Кошелев И.Н. Магнитная разведка археологических памятников / И.Н. Кошелев. – Киев, 2005.

6. Модин И.Н. Электроразведка в технической и археологической геофизике: автореф. дис. доктора техн. наук. – М., 2010. – 48 с.

THE USE OF GEOLOGICAL METHODS FOR RESEARCHES OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS WITHIN THE AREA OF VORONEZH REGION

Kosovyagina Marina Voronezh State University, Voronezh kosovyagina91@mail.ru

Summary. In summer 2014 on the territory of Kostyonki reserve museum (Voronezh region) a great amount of mammonths' bones were found during the investigation of ground for the construction of new museum building. As a result the archaeological excavations were carried out, and a dwelling of primitive humans about 18 thousand years old was found. This article describes the results of magnetic and electric surveys, and also the results of statistical analysis of the magnetic field.

Key words: archaeological excavations, electrical profiling, camp of primitive humans, statistical analysis of magnetic field

УДК 622.235.535 СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТЬ ОХРАННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Криворучко Надежда Ивановна

Институт гидромеханики НАН Украины, г. Киев, Украина seismica@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые составные процесса эффективного ведения взрывных работ на горнодобывающих предприятиях; приведены неточности существующих методик обеспечения сейсмобезопасности охранных объектов.

Ключевые слова: сейсмика, взрыв, сейсмические волны, сейсмические колебания, сейсмобезопасность

Взрывные работы являются одним из важнейших технологических процессов в горнодобывающей отрасли. Вследствие непрерывного развития общественных потребностей и роста масштабов строительства происходит увеличение количества горных предприятий, и возникает необходимость расширения границ уже существующих карьеров. При этом их границы все ближе приближаются к гражданским и промышленным сооружениям, подвергая их динамическим воздействиям сейсмических колебаний, вызванных проведением промышленных взрывов.

В связи с этим, обеспечение сейсмобезопасности для окружающих поверхностных и подземных объектов при воздействии на них сейсмических колебаний, вызванных взрывом зарядов взрывчатых веществ (ВВ), необходимость контролировать вредное воздействие взрывов для сохранения целостности окружающих охранных объектов являются одними из главных заданий исследований в промышленной сейсмике.

В большинстве исследований скорость смещения грунта принята в качестве основного критерия оценки сейсмического действия взрыва (базовая формула М.А. Садовского):

$$u = k_c \left(\frac{r}{\sqrt[3]{m}}\right)^{-\alpha},\tag{1}$$

где k_c – коэффициент, зависящий от условий взрывания и распространения колебаний; m – масса заряда BB; r – расстояние от взрыва; α – показатель затухания скорости смещения.

Основываясь на этом критерии, были разработаны нормативные документы, содержащие данные о безопасных уровнях этого параметра в зависимости от типа зданий и сооружений, их конструктивных особенностей и физического состояния.

Сейсмическое воздействие взрыва на здания и сооружения определяется не только особенностями колебаний грунта, но в значительной мере конструктивными особенностями и динамическими свойствами сооружения, которые характеризуются периодом собственных колебаний T_0 , а также логарифмическим декрементом затухания λ .

Важным показателем в совместном колебательном процессе системы «грунтсооружение» является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), которая указывает на отношение амплитуды колебаний сооружения к амплитуде вынужденных колебаний грунта в зависимости от отношения их периодов T/T_0 . Наиболее результативным способом снижения скорости сейсмоколебаний с целью повышения сейсмобезопасности признано короткозамедленное взрывание (КЗВ).

Поскольку здания и сооружения являются резонансными системами и реагируют на сейсмовоздействия, то уменьшение сейсмоопасности стоит рассматривать на основе регулирования спектрального состава сейсмоколебаний, проводить исследования для оценки сейсмобезопасного действия КЗВ не только по существующей граничнодопустимой норме, но и с учетом интервалов замедления каждого заряда BB, общей продолжительности взрыва и количества ступеней замедления.

Использование существующих нормативов оценки сейсмобезопасности зданий различного технического состояния при техногенных взрывах не всегда обеспечивает их сейсмобезопасную надежную эксплуатацию, так как не учитываются в полной мере условия и особенности распространения волн, а также ослабленность трещинами зданий и сооружений, находящихся в зоне интенсивного влияния сейсмовзрывных волн.

Исследования АЧХ сейсмовзрывных волн КЗВ проводились по данным сейсмоизмерений, полученных на конструкции и ее основания, в результате которых строился спектр колебаний конструкции и спектр колебаний грунта у основания. При этом в массовых взрывах, которые проводились на гранитных карьерах, изменяли величины масс зарядов, взрываемых мгновенно в группе, и интервалы их замедления.

Анализ таких экспериментальных данных показал, что короткозамедленные взрывы, состоящие из множества групп зарядов ВВ, различных по массе, представляют очень сложное явление суперпозиции их импульсов. Спектр сейсмоколебаний таких взрывов также имеет сложную форму. При различных массах зарядов в группе и интервалах времени между вступлением импульсов за счет затухания колебания массива от ранее взорванного заряда, изменяется разница между их амплитудами. Поэтому влияние массы заряда и интервала замедления между первой и *n*-ой группами значительно проявляется в спектре результирующего колебания. При этом, оценив массовую скорость и длительность каждой мгновенно взрываемой группы в условиях конкретного КЗВ, можно определить количество зарядов ВВ в группе, последовательность их нарастания или уменьшения в различных интервалах времени замедления, тем самым существенно влиять на интенсивность результирующего колебания.

Посредством подбора масс зарядов в группе и интервала замедления, за счет интерференции для одинаковых по общей массе зарядов КЗВ можно получить частотную характеристику колебательного процесса с доминирующими частотами в области высоких или низких частот с различной амплитудой. Практически получить такой результат возможно монтажом схем КЗВ с использованием системы инициирования типа «Нонель».

При рассмотрении интерференции сейсмических колебаний при КЗВ групп зарядов, получена связь между сейсмическим воздействием взрыва и реакцией здания, которую можно описать с помощью интегралов Фурье.

Наличие в массиве неоднородностей (включений) или искусственных преград (зданий, сооружений), расположенных на пути распространения волн напряжений, учитывается полуэмпирическими методами расчета, что приводит к некоторым неточностям при оценке напряженного состояния массива.

Существующие методы определения сейсмостойкости охраняемых зданий, сооружений основаны на экспериментальном определении скорости колебаний грунта в основании объекта и сопоставлении ее со шкалой сейсмической интенсивности взрывов.

В дальней зоне действия взрыва скорости смещения частиц грунта у основания сооружения и его фундамента почти не отличаются, но в ближней зоне эта разница значительна. Поэтому существующие методики расчета сейсмобезопасности охранных

объектов в ближней зоне действия взрыва должны учитывать волновую картину по всей границе контакта «массив-объект». Замеры скорости колебаний грунта необходимо производить не в любых точках грунтового основания охраняемого здания, а в особенных местах фундамента, рассчитанных с учетом вида включений (эллиптического, треугольного, квадратного).

Таким образом, для расчета параметров сейсмобезопасности охранных объектов при ведении взрывных работ важны не только количественные характеристики зарядов ВВ в группе, последовательность их нарастания или уменьшения в различных интервалах времени замедления, но и АЧХ колебаний, а для ближней зоны – и виды включений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко В.В., Кузьменко А.А., Лемешко В.А. Вопросы аппаратурного контроля и сейсмобезопасности взрывных работ // Информационный бюллетень украинского союза инженеров-взрывников. – 2011. – №3. – С. 13-20.

2. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України: монографія. – К.: ТОВ "Видавництво Сталь", 2012. – 184 с.

3. Вовк А.А., Леванкова Л.Н. Параметры поверхностных сейсмических волн при массовых взрывах // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – 2006. – №13. – С. 23-33.

4. Криворучко Н.И. Выполнение взрывных работ на горнодобывающих предприятиях Украины // Проблемы недропользования. – 2014. – № 2. – С. 39-45.

5. Ляшенко В.И., Мельник Г.В., Швыдько П.В. Прогресивные технологии управления взрывными работами на горных предприятиях // Цветная металлургия. Горное дело – М., 2009. – №8 – С. 3-11.

THE SEISMIC SAFETY OF PROTECTION OBJECTS AT THE PERFORMANCE EXPLOSIVE WORKS IN THE MINING ENTERPRISES

Kryvoruchko Nadezhda

Institute of Hydromechanics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine seismica@mail.ru

Summary. Some processes' components of efficient performing explosive works in the mining plants were considered. The inaccuracies of existing methods for seismic safety of protection objects were given in this article. **Keywords**: seismic, explosion, seismic waves, seismic vibrations, seismic safety

УДК 550.837 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Ласкина Татьяна Андреевна, Плешков Лев Дмитриевич ПГНИУ, г. Пермь ognewatania@yandex.ru, levpleshkov@gmail.com

Аннотация. В данной работе рассмотрен опыт изучения особенностей проявления влияния нефтяных залежей в электромагнитных полях на примере месторождений углеводородов Пермского края. Выполненные исследования могут способствовать выделению и уточнению наиболее продуктивных участков залежи.

Ключевые слова: электроразведка, месторождения углеводородов, зондирование, аномалии, миграция углеводородов

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач является разработка эффективных способов поисков и детального изучения месторождений углеводородов (УВ). В условиях Пермского края, учитывая современное состояние нефтяной отрасли и степень изученности территории, одной из важнейших проблем является выделение наиболее продуктивных участков залежи в пределах нефтяных месторождений. Это объясняется тем, что распределение углеводородов в пределах месторождения часто имеет неравномерный, иногда мозаичный, характер. Сложное строение залежей обуславливает потребность детального изучения территории геофизическими методами в целях прогноза продуктивных скважин. В последнее время в мире существует тенденция активного развития несейсмических методов поисков и исследования нефтяных месторождений, которые в комплексе с сейсморазведочными данными позволяют получить более полную информацию о геологическом разрезе территории и особенностях строения месторождений. Методы электрометрии при этом получили широкое распространение как при наземных работах, так и при исследованиях на акваториях [1, 2, 4], поскольку петрофизические основы электроразведки дают широкие предпосылки для их использования в различных геологических и технологических условиях. В данной работе характеризуется опыт изучения особенностей проявления влияния нефтяных залежей в электромагнитных полях на примере месторождений Пермского края.

Комплекс методов электрометрии, применяемый при изучении месторождений углеводородов, включает методы постоянного тока и переменных электромагнитных полей, что позволяет в зависимости от конкретных условий решаемых задач сочетать различные способы возбуждения и регистрации полей для более эффективного и однозначного истолкования результатов наблюдений. Особенностью используемой технологии на данном этапе исследований является интервал эффективных глубин, не достигающий глубины залегания нефтяных залежей. При этом основной целью является изучение измененной толщи пород над залежью и установление вероятности наличия взаимосвязи между аномалиями геоэлектрических параметров и наиболее продуктивными участками залежи углеводородов. Для достижения поставленной цели измерения проводятся в пределах нефтеносных и фоновых частей месторождений, что позволяет оценить степень достоверности выделенных аномалий.

Многими исследователями в рамках различных концепций подтверждается наличие вертикальной миграции углеводородов из залежи к приповерхностным отложениям [5, 6], что приводит к формированию зоны измененных горных пород над нефтяной залежью. Данная область существенно отличается по физическим характеристикам от вмещающих горных пород, поэтому, вероятно, может быть выделена с помощью методов электрометрии. Процесс вертикальной миграции углеводородов, достигающий приповерхностных отложений, подтверждается также геохимическими исследованиями [5, 6], которые фиксируют зоны повышенной концентрации УВ на поверхности над рядом месторождений. Однако это во многих случаях не является эффективным критерием выделения наиболее продуктивных зон, так как в плане данные аномалии часто не соответствуют контуру залежей, что свидетельствует о более сложной системе миграции УВ и необходимости изучения данного процесса в нижележащих отложениях, что может быть реализовано с помощью методов электрометрии.

В Пермском крае наличие вертикальной миграции УВ подтверждается также присутствием поверхностных нефтепроявлений в пределах некоторых месторождений (Чураковское, Кокуйское и др.), расположенных в закарстованных районах. На территориях интенсивного развития процесса карстообразования вероятность вертикальной миграции УВ повышается, так как увеличивается пористость пород, что формирует дополнительные пути миграции. При этом в условиях Пермского края большая часть территории (более 40 %) представлена карстующимися породами. Также большинство месторождений находятся вблизи тектонических нарушений, что тоже способствует повышенной трещиноватости пород и наличию областей нарушения сплошности пород. Все это повышает вероятность миграции углеводородов от залежи к приповерхностным отложениям. Предположительно, зоны наиболее интенсивной миграции соответствуют наиболее продуктивным участкам залежи.

На территории ряда нефтяных месторождений Пермского края в период 2001-2008 гг. были выполнены электроразведочные исследования, основной целью которых являлось изучение углеводородного и хлоридного загрязнения приповерхностных отложений (до глубин 60 м на основной части исследуемой территории и до 185 м на детализационных участках). По результатам интерпретации полученных данных были выделены характерные аномалии повышенного сопротивления, отождествляемые с приповерхностными скоплениями углеводородов. Одно из главных предположений о причинах возникновения данных зон было связано с техногенным влиянием, обусловленным процессом разработки месторождения. Однако существуют предпосылки для формирования другой модели образования этих зон. В качестве примера рассмотрим одну из выделенных аномальных областей. В плане она коррелируется с зоной поверхностных нефтепроявлений, которая отображается в виде аномалии повышенного сопротивления, при этом прослеживается наличие связи с более глубокой субвертикальной областью повышенных значений сопротивления (рис. 1). Необходимо отметить, что интенсивность проявления аномалии возрастает с глубиной и превышает фоновые значения в 2–3 раза. Таким образом, выделенная зона прослеживается во всем интервале исследуемых глубин от 2 до 185 м. Рассмотренные выше представления о модели месторождения и такие особенности аномальной зоны, как глубина прослеживания, субвертикальный характер, повышение интенсивности с глубиной позволяют предположить, что причина ее формирования, вероятно, связана с глубинной миграцией УВ из залежи. Также необходимо учесть тот факт, что часть выделенных аномалий тяготеет к местам расположения нефтедобывающих скважин, что с одной стороны подтверждает предположение о возможном техногенном загрязнении, а с другой стороны не противоречит предполагаемой модели особенностей строения нефтяных месторождений и глубинной миграции, так как скважины расположены в пределах продуктивного участка залежи.



В ходе экспериментальных работ на одном из месторождений был применен расширенный комплекс методов, позволяющий регистрировать дополнительные параметры и увеличить глубину исследования до 600 м. В данном случае, в силу геологических особенностей территории, аномалии повышенного сопротивления в продуктивной части месторождения отчетливо проявляются лишь с глубины 350-400 м, в то время как на предположительно фоновой территории подобные аномалии отсутствуют (рис. 2). Данный интервал глубин был исследован с помощью метода промышленных магнитных полей [3], выделенные аномалии прослеживаются также в нижележащих отложениях по результатам метода переходных процессов. Необходимо отметить, что в приповерхностной части разреза выделенным аномалиям соответствуют области повышенных значений параметра вызванной поляризации пород в интервале глубин от 90 до 200 м, при этом нижняя граница обусловлена предельной глубиной исследования методом ВЭЗ-ВП.

Таким образом, глубина проявления зоны измененных пород и миграции УВ различна и определяется рядом факторов, среди которых глубина залегания залежей, их мощность и нефтенасыщенность, особенности геологического строения территории и др. В Пермском крае по имеющимся данным можно сделать вывод, что глубина проявления верхней границы данной зоны при средней глубине залегания залежей 1500-2000 м составляет около 20-400 м, в отдельных случаях достигая поверхности земли. По результатам анализа полученных материалов можно выделить условия, благоприятные для формирования зоны измененных пород в приповерхностных отложениях и ее

проявления в электромагнитных полях: относительно небольшие глубины залегания залежей, закарстованность территории, трещиноватость пород, отсутствие мощных пластов непроницаемых отложений (например, соляных в условиях Верхнекамского месторождения) и др.



Рис. 2. Разрезы кажущегося сопротивления, полученные по данным метода ПМП на территории продуктивной (*a*) и предположительно фоновой (*б*) части месторождения

Выделенные зоны повышенного электрического сопротивления позволяют предполагать наличие углеводородов в разрезе и, возможно, прогнозировать наиболее продуктивные участки залежи. При изучении приповерхностных проявлений углеводородов (до 200-600 м), если исследования не достигают глубины залегания залежи УВ, возникает вопрос о возможности проекции выделенных аномальных зон на глубину залежи и обоснованности данного подхода. В отличие от геохимических методов, существует возможность проследить характер пространственного поведения зон интенсивной миграции с глубиной и определить предельную глубину исследования (в случае сходных геологических условий), где изменение направления зоны миграции является маловероятным, с помощью электроразведочных исследований. Это может быть реализовано с помощью более глубинных исследований на части территории месторождения. При увеличении глубинности комплекса методов повышается обоснованность проекции аномалий на глубину залежи, однако при этом также необходимо учитывать экономические факторы.

Таким образом, в данной работе рассмотрен опыт изучения проявления влияния нефтяных залежей в электромагнитных полях на примере месторождений Пермского края. Результаты анализа выделенных аномальных зон допускают предполагаемую модель особенностей строения нефтяных месторождений.

Выполненные исследования могут способствовать уточнению и идентификации наиболее продуктивных участков залежи.

На следующем этапе экспериментальных работ необходимо увеличить глубину исследования на контрольном участке для повышения обоснованности связи аномалий с параметрами залежи для конкретного месторождения. Дальнейшее исследование площади можно выполнять при использовании наиболее оперативного и дешевого метода, результаты которого при необходимости могут быть заверены более глубинным комплексом. Также важной частью обоснования возможности применения развиваемого подхода является сопоставление полученных результатов с данными других методов. На этапе обоснования и подтверждения достоверности перспективным является также более широкое сопоставление результатов с данными о продуктивности скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов Б.П., Мухамадиев Р.С., Могилатов В.С., Андреев Д.С., Злобинский А.В., Шишкин В.К., Стогний В.В. Оконтуривание залажей углеводородов с ис-

пользованием зондирований вертикальными токами // Геофизика. – 2011. – № 1. – С. 61-66.

2. Богданов Г.А., Кобзарев Г.Ю., Делия С.В., Зеленцов В.В., Иванов С.А., Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М. Опыт применения и геологические результаты работ дифференциальным нормированным методом электроразведки на российской акватории Каспийского моря // Геофизика. – 2005. – № 5. – С. 38-41.

3. Колесников В.П. К обоснованию применения промышленных электромагнитных полей для решения геологоразведочных задач // Научный журнал «Вестник Пермского университета». – Вып. 4(21). – 2013. – С. 56-61.

4. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Таскинбаев К.М. Поиски и разведка скоплений углеводородов геоэлектрическими методами на нефтяных месторождениях Западного Казахстана // Георесурсы. – 2003. – № 1. – С. 31-37.

5. Мегеря В.М. Поиски и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли. – М.: Локус Станди, 2009. – 256 с.

6. Шигаев В.Ю. Геоэлектрохимические исследования геологической среды / В.Ю. Шигаев // под общ. ред. В.П. Губатенко. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2012. – 184 с.

ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF HYDROCARBONS DEPOSITS MANIFESTATION IN THE ELECTROMAGNETIC FIELDS

Laskina Tatiana, Pleshkov Lev

Perm State National Research University, Perm ognewatania@yandex.ru, levpleshkov@gmail.com

Summary. In this work were considered characteristics of oil deposits effects in electromagnetic fields based on practical researches on several oil fields of Perm Krai. Efforts of this work may contribute to a better identification and location updating of the most productive prospects.

Key words: electrical survey, hydrocarbon deposits, sounding, anomalies, migration of hydrocarbons

УДК 550.34

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГРАВИТАЦИОННЫМ ПОЛЕМ ЗЕМЛИ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Лисунов Евгений Витальевич ГС РАН, г. Владивосток

lisunov.evgeniy@gmail.com

Аннотация. Показаны фрагменты записей значений силы тяжести с использованием гравиметра gPhone, перед землетрясениями. Приведены результаты наблюдений.

Ключевые слова: гравиметр, силы тяжести, гравитационное поле, землетрясение

В предыдущих работах описывались эксперименты по регистрации землетрясений, гравиметром gPhone и CG5, сравнивались величины сигнала от различных событий [1, 2]. В данном докладе приведены некоторые результаты исследования вариаций гравитационного поля перед сильными землетрясениями на побережье бухты Витязь Японского моря в районе морской экспериментальной станции Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН (МЭС ТОИ ДВО РАН) «Мыс Шульца». Исследования вариаций гравитационного поля на МЭС ТОИ ДВО РАН «Мыс Шульца» проводятся совместными усилиями ТОИ ДВО РАН. Для измерения сигналов, наблюдаемых при сейсмических событиях, применялся гравиметр gPhone компании Micro-g LaCoste с металлическим пружинным датчиком, который обладает большим динамическим диапазоном, позволяющим избежать насыщения сигналами высокой амплитуды, возникающими во время землетрясения, и при этом имеющим достаточную чувствительность для регистрации постоянного фонового сейсмического шума и приливных движений Земли. Диапазон измерений прибора превышает 8000 мГал без необходимости переустановки, а разрешающая способность при снятии показаний составляет 0,001 мГал. Все это позволяет использовать прибор как для подробных полевых исследований, так и для крупномасштабных региональных или геодезических съемок. Оцифрованные сигналы записываются в память гравиметра и передаются в центры обработки информации Геофизической службы РАН.

На рисунках приведены результаты фрагментов записей сигнала на выходе гравиметра. Исходя из данных метеостанции, сильных ветров и волн в тот период не наблюдалось.

Время UTC (соответствует Владивостокскому времени + 10 час.)

Параметры землетрясения (рис. 1): Мз 7.3, глубина 30 км, расстояние до м. Шульца 1200 км. На верхней картинке общий вид записи. Контуром выделен участок, рассматриваемый на нижней картинке в увеличении.

Примерно за 40 часов до землетрясения началось увеличение амплитуды сигнала. До этого уровень был примерно 100 мкГал, затем повысился до 400-500 мкГал.

Параметры землетрясения (рис. 2): Мs 7.1, глубина 10 км, расстояние до м. Шульца 1300 км. Примерно за 32 часа до землетрясения произошло непродолжительное увеличение амплитуды сигнала. Уровень поднялся с 200 мкГал до 500-600 мкГал.

Параметры землетрясения (рис. 3): Мѕ 8.3, глубина 598 км, расстояние до м. Шульца 2000 км. На этой записи видно землетрясение о.Фиджи Мѕ7.4, после которого уровень сигнала поднялся со 50 мкГал до 200 мкГал. Увеличение продолжалось вплоть до Охотоморского землетрясения.

Параметры землетрясения (рис. 4): Мз 7.9, глубина 160 км, расстояние до м. Шульца 3700 км. За сутки произошло кратковременное увеличение амплитуды с 80 мкГал до 160 мкГал.

При перемещении континентальных плит, в результате перемещения масс возможно изменение значений силы тяжести в данном регионе. Не исключено, что данные изменения амплитуды сигнала, вызваны именно этим перемещением.

Подобные наблюдения описываются в ряде работ ученых из Китая [3], где также наблюдалось веретенообразное увеличение амплитуды сигнала за несколько часов до землетрясений в Японии (9 и 11 марта 2011 г.)

Для более ясного понимания данного процесса необходимо проводить дальнейшие наблюдения, накопление статистических данных. Желательно проводить замеры с использованием нескольких гравиметров, расположенных на расстоянии друг от друга, чтобы проследить зависимость изменения величины силы тяжести по мере удаленности от эпицентра землетрясения.



Рис. 3. 24-05-2013 Охотское море



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горожанцев С.В., Наумов С.Б. Особенности высокоточных гравиметрических измерений в периоды сильных землетрясений // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. Материалы конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Александра Кирилловича Маловичко. – Обнинск–Пермь, 2012. – С. 111–115.

2. Короченцев В.И., Горовой С.В., Наумов С.Б., Лисунов Е.В. Некоторые результаты исследования вариаций гравитационного поля в районе бухты Витязь Японского моря // Сборник материалов 8-го Всероссийского симпозиума "Физика геосфер" Владивосток, 2-6 сентября 2013 г. – Владивосток: ДВО РАН ТОИ, 2013.

^{3.} Liu Ziwei, Wei Jin, Hao Hongtao, Wu Yonlong, Li Hui. Pre-Seismic gravity disturbance of high grequency before Ms 9.0 earthquake in Japan // Journal of geodesy and geodynamics. – China, 2011.

THE RESULTS OF OBSERVATIONS OF THE GRAVITATIONAL FIELD OF THE EARTH BEFORE STRONG EARTHQUAKES

Lisunov Evgeniy GS RAS, Vladivostok lisunov.evgeniy@gmail.com

Abstract. Showing records fragments of gravity values using gravimeter gPhone, before the earthquake. The results of the observations. **Keywords:** gravimeter, gravity, gravitational field, earthquake

УДК 550.34

УТОЧНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ДОМА КУЛЬТУРЫ В ГОРОДЕ ПЕТРОПАВЛОВСКЕ-КАМЧАТСКОМ

Лунгул Ольга Александровна

ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский ok_204@mail.ru

Аннотация. В ноябре 2011 года на площадке рядом с Домом культуры в районе судоремонтной верфи в городе Петропавловске-Камчатском были выполнены сейсморазведочные работы по методу преломленных волн. Проведен анализ сейсмических условий данной площадки. В работе представлены результаты сейсморазведочных работ с привлечением фондовых материалов.

Ключевые слова: сейсмические условия, корреляционный метод преломленных волн, скорости сейсмических волн

В ноябре 2011 года с целью уточнения сейсмичности площадки Дома культуры в районе судоремонтной верфи города Петропавловска-Камчатского ООО НИЦ «Геоконсалтинг» были проведены сейсморазведочные работы (рис. 1) [3].

Городской Дом Культуры «СРВ» (ГДК «СРВ») – 2-х этажное здание с неполным каркасом и несущими мелкоблочными стенами. Как социально-значимый объект, был сдан в эксплуатацию в 1963 году, с тех пор капитальный ремонт здания проводился ча-

стично. Необходимость проведения геофизических работ возникла в связи с ожидаемым на Камчатке сильным землетрясением, вследствие которого может пострадать жилой фонд, основные объекты и системы жизнеобеспечения в Петропавловск-Камчатском городском округе.

На электронной карте сейсмического микрорайонирования г. Петропавловска-Камчатского [1, 2], изученная площадка расположена в южной части города в пределах зоны с сейсмической опасностью VIII и IX баллов.



Рис. 1. Электронная карта сейсмического микрорайонирования г. Петропавловска-Камчатского масштаба 1:10000 [2]. Черным квадратом показан район проведения работ

К VIII-балльной зоне отнесены районы с лучшими в сейсмическом отношении грунтами. Это районы сопок Мишенной, Безымянной, Зеркальной, Петровской, Никольской и некоторых безымянных сопок в юго-западных и южных частях города. Грунты этих участков представлены скальными породами, выходящими на поверхность или покрытыми слоем наносов 3-5 м, уровень грунтовых вод ниже 5 м, а также сухой галечниковой террасой на северо-восточном склоне сопки Мишенной.

К IX-балльной зоне отнесены участки, опоясывающие нижние склоны всех сопок и слабо всхолмленные равнинные участки. Грунты здесь – устойчивые, покровы алювиально-делювиальных каменисто-щебенистых супесей и суглинков мощностью больше 5 м, песчано-галечные сухие грунты высоких дельтово-морских террас; мощные пирокластические отложения, состоящие из валунов и гальки с суглинистым и супесчаным заполнителем, сухих или с уровнем грунтовых вод ниже 5 м.

Методика исследований. Сейсмические наблюдения были выполнены с помощью 24-канальной сейсмостанции «Лакколит 24-МЗ» и сейсмоприемников GS-20.DX (вертикальных). Полная расстановка (длина) косы (24 канала) при шаге между приемными каналами – 2.5 м для каждого профиля составила 57.5 м, где к. 1 и к. 24 – начало и конец соответственно (рис. 2). На изучаемой площадке применялся вариант продольного профилирования в модификации КМПВ. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось с помощью ударов «тампером» по 6-10 ударов на каждой точке. Глубина исследований составила 17.5 и 11 м, для 1-ого и 2-ого профилей, соответственно. Для составления карты сейсмического микрорайонирования города Петропавловска-Камчатского в 1974 г. [4, 5, 6] рядом с ГДК «СРВ» был пройден один профиль (сейсмозонд № 108) длиной 100 м, где 0⁰⁰ и 1⁰⁰ – начало и конец соответственно.



Рис. 2. Район проведения сейсморазведочных работ. В центре – здание ГДК «СРВ»; белыми линиями обозначены сейсмические профили №№ 1 и 2, черными линиями – зоны с сейсмической опасностью VIII и IX баллов

Результаты работ и их обсуждение. По полученным сейсмограммам были построены системы встречных и нагоняющих годографов, инверсия которых представлена в виде сейсмических разрезов по профилям №№ 1 и 2. Сейсмические разрезы демонстрируют геометрию границ и скоростные параметры грунтовых толщ.

На всех трех профилях (включая сейсмозонд № 108), хорошо прослеживается приповерхностный слой, представленный супесью макропористой. Данный слой плащеобразно покрывает всю территорию мощностью от 1 до 2 м. Скорости продольных волн (V_p) меняются от 113 до 190 м/с. Судя по скоростям в приповерхностной части разреза на профиле № 2 эти грунты отсутствуют, но на этой глубине отмечен сопоставимый по мощности слой со скоростями V_p = 335-401 м/с, характерными для более плотных грунтов.

Второй горизонт прослеживается повсеместно до глубины 5 м, но на профиле $N_{\rm P}$ 2 и сейсмозонде $N_{\rm P}$ 108 соответствует горизонту со скоростью $V_{\rm p}$ = 550-555 м/с, а на профиле $N_{\rm P}$ 1 $V_{\rm p}$ вдоль слоя меняется от 214 до 333 м/с.

На профилях № 1 и № 2 по глубине залегания кровли и подошвы хорошо коррелируется третий от поверхности слой, подошва которого располагается на глубинах 10-11.5 м на профиле № 1 и на глубине 11 м – на профиле № 2. Скорости сейсмических этом слое для профиля № 1 составили Vp 333-500 волн В = м/с. V_s = 257 м/с, для профиля № 2 – V_p = 1250 м/с, а для сейсмозонда № 108 – V_p = 1110 м/с. Обращает на себя внимание тот факт, что в пределах сейсмозонда подошва этого горизонта расположена на глубине 13-14 м. Следовательно, он соответствует сильно трещиноватым окремненным глинистым сланцам.

На профиле № 1 ниже и до глубины 16.26 м залегает слой со скоростью $V_p = 1250 \text{ м/c}$, при этом скорость $V_s = 278 \text{ м/c}$ и выше.

Ниже на всех трех профилях залегают трещиноватые скальные породы, кровля которых находится на глубинах от 10.75, 14 и 16.26 м на профиле № 2, сейсмозонде № 108 и профиле № 1 соответственно. Скорость $V_p = 2500 \text{ м/c}$ (профили № 1 и № 2), и $V_p = 2510 \text{ м/c}$ (сейсмозонд № 108).

Выводы. Представленные результаты интерпретации сейсморазведочных данных, полученные автором, подтверждаются сейсмозондом № 108.

В результате выполнения сейсморазведочных работ, построены сейсмические разрезы по профилю № 1 и № 2, которые дают возможность демонстрировать геометрию границ разделов в разрезе грунтов и их скоростные характеристики. На скоростных разрезах преломляющие границы характеризуют смену литологического состава отложений.

Анализ сейсмических условий площадки ГДК «СРВ» показал:

1. На профиле № 1 и на сейсмозонде № 108 прослеживается низкоскоростной приповерхностный слой макропористой супеси мощностью от 1 до 2 м. Скорости продольных волн этих отложений $V_p = 160-190$ м/с. На профиле № 2 на этой глубине скорость $V_p = 335-401$ м/с, что соответствует более плотным грунтам.

2. Второй горизонт прослеживается повсеместно до глубины 5 м, он соответствует дресвяно-щебенистым грунтам и характеризуется скоростями $V_p = 500-555$ м/с и $V_s = 257$ м/с. На профиле № 1 этот слой опускается до глубины 11 м.

3. Ниже, до глубины 11-14 м, залегают разрушенные до состояния дресвы и щебня и обводненные скальные отложения со скоростью $V_p = 1100-1250$ м/с и $V_s = 278$ м/с. Глубже вскрыты трещиноватые скальные породы со скоростью $V_p = 2500$ м/с.

4. Нижний слой коренных пород со скоростью сейсмических волн $V_p = 2500 \text{ м/c}$ залегает на глубине 10.75 и 16.26 м на профиле № 2 и № 1 соответственно.

5. Городской Дом Культуры «СРВ», как социально-значимый объект, был сдан в эксплуатацию в 1963 году, при этом капитальный ремонт проводился частично. На данный момент времени здание нуждается в мероприятиях по сейсмоусилению.

6. Сотрудниками Научного центра по сейсмостойкости зданий и сооружений в 90-х гг. прошлого века были выполнены расчеты по определению резонансных свойств грунтов для сейсмозондов в г. Петропавловске-Камчатском. Для сейсмозонда № 108 резонансный период грунтов равен 0.24 сек [5].

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что здание расположено на участке с благоприятными в сейсмическом отношении условиями, однако основной вклад в повреждения конструкций при ожидаемом землетрясении могут вносить резонансные явления, что следует учесть при проектных и строительных работах [3].

Работа выполнена по заказу ООО НИЦ «Геоконсалтинг». Публикация результатов с указанной организацией согласована. В процессе работы полезные консультации были получены от Аносова Г.И., Делеменя И.Ф., Константиновой Т.Г. и Селиверстова Н.И., которым автор выражают свою благодарность и признательность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунгул О.А. Анализ сейсмических условий на площадке Дома Культуры в городе Петропавловске-Камчатском // Материалы XI региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». ИВиС ДВО РАН, 16 апреля 2012 г. – С. 115-124.

2. Лунгул О.А. ГИС-проект «Электронная карта сейсмического микрорайонирования города Петропавловска-Камчатского масштаба 1:10000» // Инновации в науке: Сб ст. по материалам XL междунар. науч.-практ. конференции. – № 12 (37). – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. – С. 175-182.

3. Константинова Т.Г., Делемень И.Ф., Рылов Е.С., Коновалова (Лунгул) О.А. Сейсморазведочные работы на объекте «ДК СРВ». Научно-технический отчет. – Петропавловск-Камчатский, 2011. – 39 с. Архив ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

4. Константинова Т.Г., Шарапов В.Г. О принципах построения карты сейсмического микрорайонирования территории г. Петропавловска-Камчатского. – М.: «Наука», 1977. – С. 232-236.

5. Отчет по макросейсмическому обследованию последствий землетрясения 25 (24) ноября 1971 года на территории г. Петропавловска-Камчатского. Альбом І. Пояснительная записка. – Петропавловск-Камчатский, 1974.

6. Сводный отчет по сейсмическому микрорайонированию г. Петропавловска-Камчатского, Часть 1. Инструментальное сейсмическое микрорайонирование. Том 1. Текст и графические приложения. – Петропавловск-Камчатский, 1974.

ELABORATION OF SEISMIC CONDITIONS ON THE TERRITORY HOUSE OF CULTURE IN THE CITY OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY

Lungul Olga

Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky ok_204@mail.ru

Summary. In November 2011, on a platform next to the Palace of Culture in the ship repair yard in Petropavlovsk-Kamchatsky, we carried out seismic surveys using a method of refracted waves. Seismic conditions of the site were also analysed. The article provides results from seismic surveys including library materials.

Key words: seismic conditions, the seismic method, velocity of seismic waves

УДК 550.34 ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ (НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ САЙТ)

Макарова Диана Владимировна¹, Гайдай Наталия Константиновна² ¹СВГУ, г. Магадан dianka.zeta.22@mail.ru ²СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан nataly_mag@rambler.ru

Аннотация. Выяснение причин землетрясений и объяснение их механизма – одна из важнейших задач сейсмологии. В каталоге землетрясений Магаданской области более 4000 сейсмических событий, зарегистрированных на этой обширной территории Северо-Востока. Магаданская область не относится к наиболее опасным зонам Земли, но все же жители территории периодически также ощущают природные толчки. Чтобы вся информация о землетрясениях хранилась в одном месте, и была доступна и понятна для населения, необходимо создание регионального электронного ресурса (сайта). В данной статье представлена идея разработки научно-информационного сайта.

Ключевые слова: землетрясение, сайт, макросейсмика, Магаданская область

Возможные последствия сильных землетрясений известны практически любому жителю нашей планеты. Землетрясения – это подземные удары (толчки) и колебания поверхности Земли, вызванные естественными процессами, происходящими в земной коре [3]. На земном шаре ежегодно происходит более 100 сильных землетрясений, приводящих к различного рода разрушениям. Предугадать время землетрясения точно пока невозможно. Прогноз оправдывается в 80 процентах случаев и носит ориентировочный характер [4]. Каждому жителю нашей планеты необходимо знать о сейсмической опасности своей территории: относится его город, область, край к чрезвычайно опасной зоне или нет? Чувствительные сейсмографы ежегодно регистрируют около миллиона землетрясений на планете Земля, одно из них может быть катастрофическим, а около ста – разрушительной силы. Надо помнить, что пятая часть территории России подвержена землетрясениям силой более 7 баллов, к таким зонам относятся, например, Северный Кавказ, Якутия, Прибайкалье, Сахалин, Камчатка, Курильские острова. Это очень важно! Соблюдая технику безопасности, можно спастись от землетрясения и помочь другим людям.

Несмотря на огромное количество исследований и уже доказанное существование определенных предвестников землетрясений, в настоящее время так и не удается однозначно сказать, когда и где оно произойдет и с какой силой при этом проявится. Такая неопределенность приводит к тому, что население либо чрезмерно пугается даже незначительных проявлений сейсмических колебаний, либо напротив, относится к их проявлению весьма несерьезно.

Сегодня успешно функционируют несколько международных сервисов (Геологическая служба США, Европейско-Средиземноморский, Обнинский и др.), на которых в режиме on-line отражается информация о текущих сейсмических событиях на земном шаре [7, 8, 10, 11]. Работают также российские территориальные сервисы (Байкальский, Камчатский, Сибирский и др.), где отображается информация для конкретного региона [2, 6, 9]. На некоторых из них при этом отображаются и не очень сильные толчки (используется 12-ти балльная шкала интенсивности MSK-64, а также энергетический класс землетрясений К).

Для Магаданской области такого сервиса на сегодняшний день не существует. Конечно, на территории Магаданской области сильные события (толчки) происходят не так часто, как например, на Камчатке, однако население периодически ощущает толчки различной интенсивности. Но информация об этих событиях является достоянием только узких специалистов (профессионалы, работающие на сейсмостанциях, занимающихся землетрясениями в целом).

Все выше перечисленное говорит об актуальности данной работы, основной целью которой является создание условий для оперативного информирования населения Магаданской области о сейсмическом событии (месте, времени, его характеристиках) и проявлении последствий землетрясения в различных районах населенного пункта.

Отображение результатов будет осуществляться на информационном сайте о землетрясениях. Кроме этого, в связи с увеличением на территории области количества ответственных объектов и увеличением нагрузки на ее недра, важна любая дополнительная информация о сейсмической опасности отдельных участков.

Для получения ожидаемого результата необходимо решить следующие задачи:

- установить связь с сервером сейсмологической станции с целью получения оперативной информации о происходящих на территории Магаданской области сейсмических событиях;
- прикрепить к серверу университета сайт, работающий в режиме on-line, куда постоянно будет поступать информация с сейсмостанции. Информация на сайте должна обновляться при наступлении очередного события;
- разместить на сайте базу зарегистрированных ранее на территории Магаданской области землетрясениях (или создать связь с базой сейсмостанции);
- разработать интерактивную анкету для опроса населения с целью сбора информации о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений и отработать схему оперативного сбора данной информации;
- разработать программу для обработки результатов опроса населения и построения изосейст (макросейсмическое районирование);
- разработать интерфейс для удобства отображения полученной информации на сайте;

Календарный план выполнения исследований научно-информационного сайта

№	Наименование работы	Срок выполнения работы
1	Проектирование функциональной работы веб-ресурса	ноябрь – январь, 2014-2015г.г.
2	Разработка функциональной работы веб-ресурса	январь – март, 2015г.
3	Разработка пользовательского интерфейса (дизайна) веб- ресурса	март – май, 2015г.
4	Тестирование, разработка программ и оформление веб-ресурса	июнь – август, 2015г.
5	Анализ и обработка результатов проявления сейсмичности на территории Магаданской области	август – декабрь, 2015г.

Результатом разработки ожидается создание сайта на сервере СВГУ, на котором население Магаданской области может:

- получать информацию о параметрах землетрясения, произошедшего на территории Магаданской области (с отображением географического положения эпицентра, времени события, его энергетическом классе);
- участвовать в опросе о своих ощущениях произошедшего землетрясения;
- получать информацию о проявлениях землетрясения в различных точках населенного пункта (как в графическом режиме, так и в численном выражении);
- анализировать проявления сейсмичности на различных участках Магаданской области за различные промежутки времени;
- просматривать дополнительно документальные фильмы («Что такое землетрясения?», «Что происходит с землей при землетрясении?»), видео ролики («Как следует поступать при землетрясениях?»);
- узнать или познакомиться поближе с историей Магаданской области (природа, сопки, горы, вулканы, сдвиги литосферных плит, когда землетрясения происходили (даты), какую разрушительную опасность вели за собой землетрясения;
- просматривать фото о последствиях выраженных землетрясением Магаданской области;
- связываться по телефонам (экстренные вызовы, дополнительная информация);
- просматривать историю развития сейсмостанций Магаданской области (когда были созданы, как развивались);
- знакомиться с информацией о землетрясений в мире, перейдя по ссылкам на сайты мировых ресурсов (анонс кратких характеристик содержания сайтов);

На данный момент разработан «скелет» сайта, который можно посмотреть по адресу http://earthquake-magadan.ru/. Сайт создан на движке DLE 10.1 (движок – это система управления сайтом), использованные языки программирования – PHP, база данных – mySQL, HTML – стандартный язык разметки, CSS – язык стилей, определяющий отображение HTML-документов.

В дальнейшем сайт будет наполняться дополнительной информацией, о которой было сказано выше. Также, в настоящее время продолжается работа по формированию интерактивного опроса населения (наполнение анкеты, разработка и отладка ее интерактивной формы).

Ожидаемые нами результаты разработки и наполнения сайта представят интерес и для специалистов различных отраслей, так как можно дополнительно получить данные о:

- сейсмической активности различных участков Магаданской области [1];
- плотности разломов на отдельных участках;
- масштабе проявления конкретного землетрясения на земной поверхности [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брачун Т.А., Калинина Л.Ю., Беспалов Д.А. SeismoAc – программа для расчета сейсмической активности в Магаданской области // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013618006 от 28.08.2013.

2. Байкальский филиал ГС СО РАН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://seis-bykl.ru/ (дата обращения: 20.11.2014).

3. Землетрясения в СССР. – М.: Наука, 1990. – 323 с.

4. Зубков С.И. Предвестники землетрясений. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – 140 с.

5. Калинина Л.Ю., Гайдай Н.К., Беспалов Д.А. Сейсмический режим Магаданской области. Программа для расчета сейсмической активности // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 160-163.

6. Камчатский филиал ГС РАН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.emsd.ru/ (дата обращения: 6.01.2015).

7. Карта сейсмической активности on-line. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://2012god.ru/seismic_monitor/ (дата обращения: 6.01.2015).

8. Последние землетрясения по данным ССД. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ceme.gsras.ru/ (дата обращения 6.11.2014).

9. Сейсмический монитор СФО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eq24.ru/ (дата обращения: 20.11.2014).

10. Earthquakes. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://earthquake.usgs.gov/ earthquakes/ (дата обращения 20.11.2014).

11. Real time seismisity. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.emsccsem.org/Earthquake/ (дата обращения 20.11.2014).

EARTHQUAKE MAGADAN REGION (SCIENTIFIC INFORMATION WEBSITE)

Makarova Diana¹, Gaidai Nataliya² ¹SVGU, city of Magadan dianka.zeta.22@mail.ru ²NEISRI FEB RAS, city of Magadan

EISRI FEB RAS, city of Magadan nataly_mag@rambler.ru

Summary. Clarification of the reasons of earthquakes and an explanation of their mechanism – one of the most important problems of seismology. In the catalog of earthquakes of the Magadan region more than 4000 seismic events registered in this vast territory of the North - East. The Magadan region not to treat the most dangerous zones of Earth, but still residents of the territory periodically also feel natural shocks. That all information on earthquakes stored in one place, and accessible and comprehensible to the public, it is necessary to create a regional electronic resource (website). This paper presents the idea of the development of science – information site.

Key words: an earthquake, site, makroseysmik, Magadan region.

УДК 550.8.05 НОВЫЙ ПОДХОД В ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОПЛОТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Малышев Михаил Викторович

OAO CHГEO, г. Самара e-mail: Malyshev mv@bk.ru

Аннотация. В статье описывается методика оптимизации обработки сейсмического материала, полученного с помощью технологии проведения сейсмических работ с уплотнением пунктов возбуждения на единицу площади – slip-sweep. Практическая часть исследования выполнена на примере четырех опытных участков месторождений Самарской области. Сейсмические данные slip-sweep были сгруппированы по специальной методике. Мы выполнили сопоставление результатов обработки и качества сейсмических данных до и после применения специальной технологии, которая позволила оптимизировать обработку. Также была показана возможность эффективного использования данной методики на сейсмических данных месторождений Самарской области.

Ключевые слова: сейсмические данные, сейсморазведка, обработка, методика группирования

Введение. Актуальность данной работы подтверждается быстро растущим интересом со стороны компаний-заказчиков сейсморазведочных работ на повышение производительности и эффективности сейсморазведки. Одной из методик, позволяющих увеличить производительность сейсморазведочных работ, является высокопроизводительная сейсморазведка slip-sweep [3]. Однако, речь пойдет не о самой методике, а о модификации данных, полученных с ее использованием, для упрощения дальнейшей работы с ними.

Как известно, методика проведения сейсморазведочных работ slip-sweep является относительно новой. Впервые опытные работы с использованием данной методики были проведены в 1996 году в Омане, в объеме 40 км². Затем аналогичные исследования проводились в 2008 году в Казахстане (2000 км²), в 2009 году в Ливии (13000 км²) и в 2012 году на Аляске. В России эта методика была опробована в 2010 году в опытном режиме в объеме 16 км², силами ОАО «Башнефтегеофизика».

В производственном режиме первопроходцами в использовании методики проведения высокопроизводительной сейсморазведки 3Д с уплотнением ПВ на единицу площади стала компания ОАО СНГЕО. Работы проводились в 2012 году на трех лицензионных участках ОАО «Самаранефтегаз» общей площадью 455 км². В результате чего удалось повысить производительность сейсморазведочных работ на 60%, а также повысить качество сейсмических данных за счет уплотнения систем наблюдения без падения производительности работ [2].

Несмотря на все плюсы данной методики у нее есть и свои недостатки. Вследствие уплотнения системы наблюдения в 4 раза, увеличивается и объем получаемых данных. Т.е. для работы с такими объемными данными компаниям, выполняющим их обработку и интерпретацию, необходимо увеличивать дисковое пространство и производительность вычислительных центров. Для примера, по площади 200 км² полевой сейсмический материал, отработанный по стандартной методике, будет занимать порядка 250 Гб дискового пространства, а по высокопроизводительной методике с уплотнением – 1000 Гб, что значительно усложняет последующие процедуры присвоения геофизических компаний, а также делает практически невозможной обработку нескольких крупных площадей одновременно.

Для решения этой проблемы были поставлены следующие задачи:

- сгруппировать полевой материал по специальной методике;
- выполнить переобработку оптимизированного полевого материала;
- проанализировать полученные результаты.

Описание методики, ход выполнения, результаты. Практическая часть работы выполнялась на примере 4 площадей, которые располагаются в центральной и югозападной части Самарской области. На опытных участках двух площадей были продублированы несколько вариантов съемок МОГТ 2Д: с четырьмя накоплениями, с шестью

накоплениями и по методике slip-sweep. По остальным площадям работы выполнялись по методике *slip-sweep* (МОГТ 3Д).

В пределах всех площадей и в непосредственной близости находится множество населенных пунктов. Районы работ по каждой площади пересекают линии электропередач, линии связи, шоссейные, грунтовые и проселочные дороги. На территории лицензионных участков расположены различные нефтегазопромысловые объекты, нефтеи газопроводы.

Полученному полевому материалу была присвоена соответствующая геометрия наблюдений. После присвоения геометрии применялись различные процедуры обработки с использованием специализированных программных комплексов.

По сейсмическим данным, полученным по методике slip-sweep, был выполнен ряд процедур для оптимизации данных:

- разделение пунктов взрыва (ПВ) по группам, каждая из которых включает 4 ПВ, находящиеся на соседних пикетах;
- суммирование 4 ПВ с сохранением амплитуд по пунктам приема (ПП).

По всем наборам сейсмических данных каждого исследуемого участка первым этапом были рассчитаны статические поправки по первым вступлениям. Затем был выполнен ряд процедур, направленных на ослабление помех и улучшение прослеживаемости отражающих горизонтов. Примерный набор процедур по каждой площади включал: компенсацию сферического расхождения сигнала, частотно-зависимое подавление помех, подавление низко- и среднескоростных линейных волн-помех, поверхностносогласованную деконволюцию, ослабление аномальных значений в амплитудночастотном спектре, ослабление линейных и кратных волн помех, гармонизацию и регуляризацию данных, временную миграцию до суммирования.

Параметры, порядок процедур и их количество подбирались по каждой площади индивидуально, но основной, стандартный граф обработки сохранялся [4].

В результате мы получили сейсмический материал, объем которого уменьшился почти в 4 раза, что представлено в таблице 1. Для анализа правомерности такого группирования данных, по оптимизированному материалу были выполнены те же процедуры обработки, что и по первоначальным сейсмическим данным, а затем были сопоставлены результаты.

Таблица 1

Тип данных				
	Сейсмограммы slip-sweep до группирования	Сейсмограммы slip-sweep после группирования		
Участок				
Профиль 2Д №1	867 Mõ	213 Мб		
Профиль 2Д №2	857 Mõ	214 Мб		
Площадь 3Д №1	927 Гб	258 Гб		
Площадь 3Д №2	1,19 Тб	324 Γδ		

Сопоставление объемов сейсмических данных по 4 выбранным участкам

При сравнении двух полевых материалов (сгруппированного и slip-sweep) на разных этапах обработки получены различия по суммам: на разрезах сгруппированного материала улучшается прослеживаемость отражающих горизонтов, разрезы выглядят более динамично (рис. 1-2).



Рис. 1. Сопоставление фрагментов сейсмических профилей 2Д после выполнения престэк миграции до (слева) и после (справа) группирования данных



Рис. 2. Сопоставление фрагментов сейсмических кубов 3Д по INLINE 689 после выполнения престэк миграции до (сверху) и после (снизу) группирования данных

Результаты по всем 4 исследуемым участкам показали, что помимо значительного уменьшения объема данных, такая методика группирования способна улучшать качество прослеживания отражающих горизонтов на суммарных временных разрезах, а также повышать уровень соотношения сигнал/помеха по сейсмическим данным в среднем в 1,5 раза. Все вышеперечисленное положительным образом сказывается на качестве выходных данных и способно значительно сократить временные затраты на обработку и повысить качество последующей интерпретации по данным обработки.

Проблемы и пути их решения. Необходимо отметить, что наряду с положительными качествами данной методики группирования, у нее есть и свои недостатки. Основными проблемами при выполнении обработки по оптимизированным данным являются:

- суммирование шумовой составляющей;
- необходимость в дополнительной работе с заголовками сейсмических данных.

В ходе обработки показано, что все эти проблемы решаются за счет составления специального графа и использования дополнительных процедур обработки (Рис. 3).

Была также выполнена проверка совместной обработки двух площадей с разными технологиями отстрела (стандартная и slip-sweep), одна из которых была сгруппирована по предлагаемой методике. Сопоставление результатов показало их высокую сопоставимость.



Рис. 3. Группированные сейсмограммы в сортировке ОГТ до и после обработки по участку 3Д (слева) и по профилю 2Д (справа)

Заключение. По окончании выполнения всех процедур обработки стало очевидно, что предлагаемая методика группирования позволяет увеличить значение отношения сигнал/помеха, повысить качество обработки и улучшить прослеживаемость отражающих горизонтов на сейсмических разрезах. За счет уменьшения объема данных почти в 4 раза значительно сократится и время, затрачиваемое на расчеты на серверах вычислительных центров геофизических компаний по таким сложным и времязатратным процедурам, как регуляризация данных и глубинная и временная миграции до суммирования. Внедрение данной методики группирования в производственный процесс не требует никаких материальных вложений и позволит сэкономить средства геофизических компаний за счет интенсификации обработки сейсмических данных и экономии дискового пространства.

Безусловно, нельзя забывать и про то, что данная методика проверялась на участках из средней и юго-западной частей Самарской области, поэтому требуется проверка и по другим участкам. В целом, если подтвердятся результаты проверок и по другим участкам, то данная методика группирования, несомненно, займет достойное место в современных методах обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев В.И. Сейсморазведка. – Екатеринбург: Информационно-издательский центр, 2007. – 703 с.

2. Опыт проведения сейсморазведочных работ МОГТ-3D по методике Slip-Sweep /

Г.Г. Гилаев, А.Э. Манасян, И.Г. Хамитов, А.Ф. Исмагилов, В.С. Жужель, В.Н. Кожин, В.И. Ефимов // Нефтяное хозяйство. – 2013, № 4. – С. 82-85.

3. Высокопроизводительный Вибросейс / Дени Мужно // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2009, №3.

4. Теоретические основы обработки геофизической информации. Пособие / сост. Никитин А.А., Петров А.В.– Москва, 2008. – 112 с.

5. Шнеерсон М.Б., Жуков А.П. Современные тенденции вибрационной сейсморазведки // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2010. – Т.33. № 3. – С.19-25.

NEW APPROACH TO PROCESSING OF HIGH-DENSITY SEISMIC DATA

Malyshev Mikhail Viktorovich OJSC SNGEO, c. Samara e-mail: Malyshev mv@bk.ru

Abstract. The article describes the optimization technique of processing seismic data obtained by the survey technology with concentration shot points per unit area – slip-sweep. The practical part of the research was carried out by the example of the four test experimental areas of the Samara region. Slip-sweep seismic data were grouped according to a special technique. We have performed a comparison of the results of processing and quality of the seismic data before and after the application of special technology of grouping, which allowed optimize the processing. Also, was demonstrated the possibility of effective use this technique on seismic data from the oilfields in the Samara region. **Key words:** seismic data, seismic surveying, processing, grouping technique

УДК 550.8.052 ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОКООБРАЗНОЙ АППРОКСИМАЦИИ В СКВАЖИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

Миронова Наталья Константиновна

ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург Natka.2013@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены возможности истокообразной аппроксимации для локализации электропроводных объектов в методе импульсного заряда. На основе решения прямой задачи рассмотрены модели горизонтального и вертикального пластов. Показано, что по параметру среднеквадратического отклонения б надежно локализуется центр объектов. Приведены практические результаты на одном из месторождений рудного Алтая.
Ключевые слова: истокообразная аппроксимация, метод импульсного заряда, среднеквадратическое отклонение, модель вертикального пласта, модель горизонтального пласта, применение метода

Целью работы является использование известного алгоритма [1] истокообразной аппроксимации для локализации электропроводных объектов в нижнем полупространстве на примере постоянного электрического поля. Истокообразная аппроксимация для трехмерных сред заключается в сравнении наблюденного поля с теоретическим полем, полученным решением прямой задачи, с включенным в него элементарным объёмом с высокой элетропроводностью. Объём включения, его форма и электрические свойства определяются интерпретатором. Учитывая анизотропию среды, электрические свойства задаются тензором, в котором поочередно его элементы равны единице, при равенстве других элементов этого тензора нулю. В результате можно получить матрицу размером 3х3 среднеквадратического отклонения измеренного и модельного полей [1]. По этой величине можно оценить местоположение неоднородностей в нижнем полупространстве при перемещении элементарного объёма внутри исследуемого объёма геологической среды, минимизируя функционал:

$$\sum_{k=1}^{N} (\Delta \varphi^{k} - k_{ij} \frac{\Delta \varphi^{n}_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N} (\Delta \varphi^{k}_{ij})^{2}}})^{2} = \delta_{ij}^{2}, \qquad (1)$$

где $\Delta \varphi^k$ – аномальная разность потенциалов по экспериментальным данным, $\Delta \varphi^k_{ij}$ – аномальная разность потенциалов по решению прямой задачи, N – количество измерений, k_{ii} – коэффициент парной корреляции.



через горизонтальный пласт

Таким образом, алгоритм истокообразной аппроксимации заключается в следующем:

1. Находится среднеквадратическое отклонение между наблюденным аномальным полем и теоретическим полем заданной модели.

2. Строится распределение среднеквадратического отклонения в изучаемом объёме среды как функции пространственных координат.

Критерием положения объектов является минимум среднеквадратического отклонения δ_{ii} между измеренными значениями и модельными полями [2].

В результате мы получаем объёмное распределение интерпретационных параметров Sx и Sy.

На основе решения прямой задачи [2] выполнены расчеты методом истокообразной аппроксимации горизонтального (рис. 1) и вертикального (рис. 2) пластов. В планах и разрезах минимум среднеквадратического отклонения δ соответствует центру объекта.

Рассмотрим результаты моделирования распределения параметров Sx и Sy для некоторых моделей, возбуждаемых полем заряда.



Рис. 2 Разрез (а) и план (б) изолиний Sx через вертикальный пласт в плоскостях у=300м и z=200м соответственно

На одном из участков рудного Алтая были выполнены измерения методом импульсного заряда. В результате применения метода истокообразной аппроксимации получена характерная аномалия (рис. 3) минимума среднеквадратического отклонения (Sx), характерного для вертикального пласта (см. рис. 2). Рекомендованная скважина C-919 подсекла зону промышленной полиметаллической руды в интервале от 30 до 190 м.



Рис. 3. Пример использования метода истокообразной аппроксимации для интерпретации импульсного заряда на Восточном фланге Тишинского месторождения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров П.Н., Александров А.Н. Истокообразная аппроксимация в задачах сейсморазведки и электроразведки // Гальперинские чтения – 2009. IX Ежегодная Международная Конференция и выставка. Москва, ЦГЭ, 27-30 октября 2009. Тезисы докладов. – Москва, 2009. – С. 58-62.

2. Голиков Ю.В. Импульсная электроразведка методом заряда / Научное издание. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. – 273 с.

APPLICATION SOURCEWISE APPROXIMATION IN THE BOREHOLE ELECTRICAL PROSPECTING

Natalia Mironova IG UB RAS, Ekaterinburg Natka.2013@yandex.ru

Abstract. The article discusses the possibility of sourcewise approximation for the localization of electrically conductive objects in the method of pulse charge. Based on the solution of the direct problem considered models of horizontal and vertical seams. It is shown that the parameter of the standard deviation δ reliably localized center facilities. The practical results in one of the fields of ore Altai.

Key words. sourcewise approximation method of pulse charge, standard deviation, vertical layer model, the model of the horizontal layer, application of the method

УДК 550.311 ГОДОГРАФЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАЗ Р И S ДЛЯ ЕВРО-АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Михайлова Яна Александровна ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск Mikhailovavana@gmail.com

Аннотация. С использованием методологии приемных функций обменных волн P-receiver functions была определена скоростная структура земной коры и верхней мантии для двух участков Евро-Арктического региона – архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа. Это позволило вычислить два годографа региональных сейсмических фаз P и S – NOES и SV. Проверка эффективности вычисленных годографов, а также IASPEI91 и BARENTS показала, что оптимальным для вычисления координат эпицентров землетрясений в районе спрединговых хребтов Евро-Арктического региона является годограф NOES.

Ключевые слова: годограф, Арктика, землетрясения, сейсмический мониторинг

Одним из важных этапов обработки материалов сейсмологических наблюдений является оценка местоположения эпицентров землетрясений. Для приближенной оценки координат эпицентров землетрясений на локальных и региональных расстояниях могут использоваться глобальные годографы JB (Jeffreys and Bullen), PREM, IASP91 или AK135. Они в усредненном виде описывают кинематику региональных фаз в масштабе всего земного шара. Однако, получаемые при этом кинематические характеристики сейсмических фаз и координаты эпицентров имеют большую погрешность. Из-за этого снижается их научная значимость. Поэтому в практику сейсмологических исследований входит вычисление и использование для конкретных регионов собственных годографов при обработке сейсмических событий на локальных и региональных расстояниях.

Вычисление годографов региональных сейсмических фаз в Евро-Арктическом регионе осуществлялось следующим образом. С использованием методологии приемных функций обменных волн P-receiver functions [4] была определена скоростная структура земной коры и верхней мантии для двух участков Евро-Арктическом региона – архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа. Нами рассматривается среда, локализованная непосредственно под сейсмическими станциями SPA0 и ZFI, в так называемой подстанционной области.

В качестве исходных данных использовались широкополосные трехкомпонентные записи 120 землетрясений с эпицентральных расстояний от 35 до 90 градусов, всех азимутальных направлений, с магнитудами от 5.8 до 8.3, с глубинами очагов до 300 км. Для станций ZFI и SPA0 получены Р-приемные функции, содержащие обменную волну Ps, полностью освобожденные от влияния источника, являющиеся только функцией приемника и характеризующие среду в подстанционной области.

Полученные приемные функции были инвертированы в скоростные модели Vs. Поиск оптимальной скоростной модели основан на общем способе решения некорректных обратных задач методом регуляризации Тихонова [5], при котором задача сводится к решению системы линейных уравнений, содержащих в качестве параметров скорости продольных и поперечных волн (Vp, Vs), плотности (р) и мощности слоев. Для обращения использовалась модель с постоянными скоростями в слоях, состоящая из трина-

дцати слоев в пределах глубин от 0 до 52 км, лежащих на полупространстве. Вариации скоростей поперечных волн выполнялись с фиксированными отношениями скоростей Vp/Vs=1.732 в коре и Vp/Vs=1.8 в мантии. Плотность задавалась по Берчу [1]. Скоростные модели определялись итеративным способом путем подбора синтетической и экспериментальной кривой, процесс продолжался до тех пор, пока отклонение синтетической и экспериментальной кривой не достигло либо было меньше величины погрешности, равной σ_{fin} =0.02.

Для удобства, полученные скоростные модели получили название "NOES" (the North of Eurasian shelf) и "SV" (Svalbard). На основе полученных скоростных моделей NOES и SV были вычислены годографы региональные сейсмических фаз P и S, получившие одноименные названия. Вычисление годографа производилось с помощью лучевого метода по программе "Layers_Travel_Time", разработки канд.ф.-м.н. В.Э. Асминга из Кольского филиала Геофизической службы РАН.

Годографы NOES и SV представляет собой таблицы времен прихода (в секундах) сейсмических фаз P и S в зависимости от эпицентрального расстояния (в градусах) и глубины очага (км). Годографы рассчитаны для значения эпицентральных расстояний в диапазоне от 0 до 30° с шагом 0.1° и для следующих значений глубин очага: 0, 5, 10, 20 и 30 км.

Благодаря использованию вычисленных скоростных моделей в районе архипелагов Земля Франца-Иосифа и Шпицберген, разработанные годографы NOES и SV учитывают региональные геолого-тектонические особенности территории шельфа Евразии и переходной зоны "континент-океан". Следовательно, годографы позволяют уменьшить ошибку в локации координат эпицентров землетрясений в Евро-Арктическом регионе.

Для проверки эффективности полученных годографов NOES и SV, и выбора оптимального из них была проделана следующая работа. Из каталога Международного сейсмологического Центра ISC [34] была составлена выборка землетрясений с mb \geq 4.0, произошедших в Арктическом регионе за период с 2002 по 2012 гг. Для каждого выбранного землетрясения параметры его гипоцентра были рассчитаны по данным не менее 100 сейсмических станций. Так как объективно установить точные параметры гипоцентров землетрясений невозможно, в работе предполагается, что их положение определено с достаточной точностью.

По исходным записям сейсмических станций SPA0, KBS, HSPB, ZFI, BJO1 и HOPEN, функционирующих в районе архипелага Шпицберген, вычислялись эпицентральные расстояния для каждого землетрясения с учетом времен вступлений сейсмических фаз P и S. Эпицентральные расстояния вычислялись с использованием разных годографов NOES, SV, BARENTS и IASPEI91. Для сравнения вычисленных значений эпицентральных расстояний с "истинными" расстояниями между станцией и эпицентрами использовалась величина $\delta\Delta^{\circ}$, определяемая как разница между вычисленным эпицентральным расстоянием и "истинным":

 $\delta\Delta^{\circ} = \Delta^{\circ}_{bb} - \Delta^{\circ}_{ucmuhoe} - \Delta^{\circ}_{ucmuhoe} - \Delta^{\circ}_{ucmuhoe}$ (1)

Значение $\delta\Delta^{\circ}$, введенное таким образом, позволяет характеризовать распределение точек на графике такими терминами как "недолет" и "перелет". Т.е. когда вычисленное эпицентральное расстояние меньше или больше "истинного" расстояния от станции до эпицентра.

Результаты сравнения годографов NOES, SV, BARENTS и IASPEI91 довольно интересны (рис. 1). Так, в пределах эпицентральных расстояний до 2.2° годографы дают практически одинаковый разброс, преимущественно "недолет". При этом по годографу BARENTS на этих расстояниях сейсмические волны обладают большими скоростями по сравнению с другими годографами.

Начиная с расстояния 2.2°, годографы ведут себя по-разному. Для годографов IASPEI91 и SPA0 характерен сильный "недолет". С увеличением эпицентрального расстояния разброс увеличивается и может достигать 1.5°, т.е. почти 170 км. Для годографа BARENTS в пределах всего рассматриваемого интервала расстояний (от 0° до 18°) характерен небольшой "недолет", но значения разброса не превышают 0.5°. Для годографа NOES характерен несущественный разброс в окрестностях нуля до эпицентрального расстояния 10°, после начинается "перелет". При этом до эпицентрального расстояния 14° значения разброса не превышают 0.25°. После расстояния 14° наблюдается сильный "перелет". Таким образом, опытным путем установлено, что использование годографа NOES при вычислении параметров арктических землетрясений приведет к меньшей ошибке в локации эпицентров, чем при использовании других годографов.

При сравнении поведения годографов в зависимости от района и от сейсмической станции определено, что для годографов BARENTS, IASPEI91 и SV характерен чуть больший "недолет" для землетрясений из хребта Гаккеля, а годограф NOES ведет себя одинаково вне зависимости от района, в котором произошло землетрясение.



Рис. 1. Сравнения годографов NOES, SPA0, BARENTS и IASPEI91 по вычисленным эпицентральным расстояниям

Эффективность нового годографа NOES можно проиллюстрировать с помощью рисунка 2 (а, б), на котором приведены эпицентры землетрясений 320 землетрясений с хребта Гаккеля за период с 2011 по 2014 гг. и вычисленные с использованием годографов BARENTS и NOES. У землетрясений были пересчитаны параметры очага с использование вычисленного годографа. Видно, что эпицентры (до 80 градуса) долготы имеют распределение вдоль осевой линии хребет Гаккеля.

В итоге проведенной работы нам удалось вычислить годографы региональных сейсмических фаз, которые были названы NOES и SV. Проверка эффективности показала, что годограф NOES позволяет с большей точностью вычислять параметры эпицентров землетрясений в зоне архипелага Шпицберген и в Западной арктической зоне РФ, чем при использовании разработанных ранее годографов IASPEI91 и BARENTS. В дальнейшем годограф будет применяться в рутинной обработке данных Архангельской сейсмической сети.



Рис. 2. Эпицентры землетрясений хребта Гаккеля, зарегистрированные сейсмическими станциями Архангельской сейсмической сети в период с 2011 по 2014 гг. и вычисленные с использованием годографа BARENTS (а) и годографа NOES (b)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Birch, F. The velocity of compressional waves in rocks in 10 kilobars, part 2 // Journal of Geophysical Research. – 1961. – V. 66. – Issue 7. – P. 2199-2224.

2. Morozov A.N., Konechnaya Ya.V. Monitoring of the Arctic region: capabilities of the Arkhangelsk seismic neetwork // Journal of Seismology. – 2013. – V. 17. – Issue 2. – P. 819-827.

3. Vinnik L.P. Detection of waves converted from P to S in the mantle // Physics of the Earth and Planetary Interiors. -1977. - V. 15. - P. 39-45.

4. Ассиновская Б.А. Сейсмичность Баренцева моря. – М: РАН, 1994. – 128 с.

5. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 288 с.

TRAVEL-TIMES FOR REGIONAL SEISMIC PHASES P AND S FOR THE EURO-ARCTIC REGION

Mikhaylova Yana IEPS UB RAS, г. Архангельск Mikhailovavana@gmail.com

Summary The crustal velocity structure of two areas of Euro-Arctic Region – the Svalbard archipelago and Franz Josef Land archipelago – was determined using receiver functions. This allowed us to calculate two travel-times for regional phases – NOES and SV. Validation of NOES, Sval, as well as IASPEI91 and BARENTS travel-times showed that NOES travel-time was the best for calculating the location of earthquakes in the area of spreading ridges of the Euro-Arctic Region.

Key-words : travel-times, Arctic, earthquakes, seismic monitoring

УДК 550.83

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДЯНОЙ ГОРЫ И КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ

Мичурин Антон Владимирович¹, Пугин Алексей Витальевич^{1,2}, Симанов Алексей Аркадьевич¹, Хохлова Валерия Васильевна¹, Новикова Полина Николаевна^{1,2} ¹ГИ УрО РАН, г. Пермь ²ПГНИУ, г. Пермь leks-p@mail.ru

Аннотация. В статье представлены первые результаты наземноподземных гравиметрических и магнитометрических исследований в пределах участка историко-природного комплекса «Ледяная гора и Кунгурская ледяная пещера».

Ключевые слова: гравиразведка, магниторазведка, Кунгурская Ледяная пещера, Ледяная гора, карст

Кунгурская Ледяная пещера и Ледяная гора представляют собой единый историко-природный комплекс, включенный в перечень объектов культурного наследия ЮНЕСКО. Комплекс расположен в Пермском крае на окраине города Кунгура, на правом берегу реки Сылвы (рис. 1).

С начала 1950-х годов Кунгурская Ледяная пещера и Ледяная гора представляют собой естественный полигон для апробации различных методов изучения земных недр [3]. Протекающие процессы карста и суффозии способствуют развитию в массиве Ледяной горы полостей, а на земной поверхности – образованию провалов и воронок. Наиболее протяженной полостью и эталонным объектом для исследований является сама пещера.

В 2014 году авторами поставлена задача апробации комплекса геофизических работ, ориентированного на обнаружение и локализацию ослабленных зон, карстовых полостей в пределах экзотехносферы (верхняя часть геологического разреза мощностью ~ 100 м) с целью заблаговременного предупреждения о возможных разрушительных последствиях.

Поскольку работы должны носить опережающий характер, комплекс состоит из сравнительно легких картировочных методов: гравиразведки, магниторазведки и электроразведки в варианте электропрофилирования. По состоянию на декабрь 2014 года выполнено 2/3 от запланированного объема работ, а именно наземно-подземные гравиметрические исследования и наземная магниторазведка. Выполнение электропрофилирования по методике бесконтактного измерения электрического поля (БИЭП) запланировано на 2015 год.



Рис. 1. Местоположение комплекса относительно г. Кунгура

Массив Ледяной горы в районе Кунгурской пещеры сложен карбонатными (известняк, доломит) и сульфатными (гипс, ангидрит) породами. Перекрывают поверхность Ледяной горы четвертичные глины и суглинки мощностью до 18 м на водоразделе, полностью смытые вблизи склона и на отдельных участках возвышенности [3].

Наземные гравиметрические и магнитометрические измерения выполнены в одних и тех же пунктах в пределах участка размером 150×300 м с шагом 15 м и в некотором его обрамлении. Для измерений использовались гравиметры Autograv CG-5 (Scintrex, Канада), цезиевый магнитометр G-859SX (Geometrix, CША), в качестве вариационной станции – квантовый магнитометр POS-1 (Уральский федеральный университет, Россия).

Гравиметрические наблюдения в Кунгурской Ледяной пещере выполнены вдоль хода, соединяющего грот Данте с гротом Метеорный (см. рис. 2). Среднеквадратическая погрешность определения аномалии Буге при наземной съемке по результатам контрольных наблюдений с учетом погрешности определения высот и координат пунктов наблюдений, вычисления поправок за влияние рельефа местности составила ±0.015 мГал, при подземной – ±0.01 мГал.

По результатам крупномасштабных топографо-геодезических работ были закартированы основные формы рельефа вплоть до карстовых воронок глубиной более 1.5 м. Полученные данные позволили составить детальную цифровую модель земной поверхности для высокоточного учета поправок за влияние рельефа в центральной и ближней зоне.





дений. Контур пещеры приведен по данным [2]. Текстом даны названия гротов. *I* – пункты гравиметрических (магнитометрических) наблюдений на поверхности Ледяной горы; *2* – пункты гравиметрических наблюдений в Кунгурской Ледяной пещере.

Диапазон аномальных значений силы тяжести в редукции Буге достигает 0.5 мГал. Значения аномального магнитного поля Δ Та лежат в интервале от -60 до 30 нТл. Рельеф земной поверхности в пределах участка представляет собой склон горы с падением в южном направлении (рис. 3). Абсолютные отметки земной поверхности в пределах участка по данным инструментальной съемки варьируются в диапазоне от 168 до 191.5 м. В большом количестве присутствуют локальные карстовые формы рельефа глубиной от 0.5 до 11 м.

Оценка величины плотности промежуточного слоя была выполнена двумя способами: по методу Неттлетона и по разности наблюдений силы тяжести в точках на земной поверхности и в пещере согласно формуле, приведенной в инструкции [1]. Значение плотности, определенное по разности двухуровневых гравиметрических наблюдений 2.05 г/см³, как более точное, было принято при расчете поправки за промежуточный слой и учете топографических масс.

Участок пересекают линии электропередач, существенно искажающие показания магнитометра. Результаты повторных наблюдений на точках в окрестности линий электропередач показали стабильность отсчетов магнитометра G-859SX в пределах ±1-3 нТл. Область «существенного» влияния ЛЭП оценивалась путем решения обратной задачи методом подбора для линейного тела.

В результате трансформаций и визуального анализа геофизических аномалий трассированы зоны разрывных нарушений, локализована аномалия, предположительно

обусловленная карстовой полостью. Оценка объема полости $V > 1000 \text{ м}^3$ получена с применением монтажного метода решения обратной задачи гравиметрии. По данным маркшейдерской съемки составлена упрощенная трехмерная модель Ледяной пещеры, которая использовалась для вычисления ее гравитационного влияния. В процессе трансформаций выделена аномалия силы тяжести, преимущественно обусловленная влиянием Кунгурской пещеры, что подтверждается результатами моделирования. По-дробное описание первых результатов работ приводится в работе [4].





а – изогипсы рельефа земной поверхности по данным топографической съемки в метрах; б – изоаномалы силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя 2.05 г/см³ в мГал; в – изогипсы локальных форм рельефа земной поверхности в метрах; г – изодинамы аномального магнитного поля ΔТа в нТл. 1 – контур Кунгурской Ледяной пещеры по данным [2]; 2 – положение линий электропередач и металлической опоры; 3 – зона существенного влияния ЛЭП.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-31035) в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы №80 (тема: «Развитие методов пространственного геофизического мониторинга экзотехносферы»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по гравиразведке. – М.: Недра, 1980. – 80 с.

2. Лавров И.А., Чугаева А.А. Электронная карта Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь, 2001. – С. 73-75.

3. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В.Н. Дублянского. – Екатеринбург: ГИ УрО РАН, 2005. – 376 с.

4. Пугин А.В., Мичурин А.В., Симанов А.А., Хохлова В.В., Новикова П.Н. Опытно-методические геофизические работы на территории историко-природного комплекса «Ледяная гора и Кунгурская Ледяная пещера» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2014. № 2. – С. 191-197.

GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS OF ICE MOUNTAIN AND KUNGUR ICE CAVE

Michurin Anton Vladimirovich¹, Pugin Aleksey Vitalyevich^{1,2}, Simanov Aleksey Arkadyevich¹, Khohlova Valeria Vasilyevna¹, Novikova Polina Nikolayevna^{1,2} ¹MI UB RAS, Perm

²Perm State University, Perm leks-p@mail.ru

Abstract. The first results of ground-underground gravimetrical and magnetic investigations on the part of historical-natural system «Ice Mountain and Kungur Ice Cave» are presented in the article.

Key words: gravitational and magnetic exploration, Kungur Ice Cave, Ice Mountain, karst

УДК 550.839

ВЫДЕЛЕНИЕ ЭРОЗИОННЫХ ВРЕЗОВ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ И КИНЕМАТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ 2D

Муртазин Дамир Гумарович ОАО «ПНГ», г. Пермь damirmrt@gmail.com

Аннотация. Динамическая и кинематическая интерпретация материалов 2D сейсморазведки, выделение эрозионных врезов визейской терригенной толщи. Объект исследования: площадь сейсмических работ 2D на севере Пермского края.

Ключевые слова: сейсморазведка 2D, динамическая интерпретация, палеорусла, визейские отложения.

Актуальность изучения визейских отложений в Пермском крае обусловлена тем, что в них содержится более 48% извлекаемых ресурсов нефти категории C3 и добывается более 50% годовой добычи нефти [4]. Несмотря на то, что в визейской терригенной толще уже выявлена наибольшая в разрезе палеозоя часть промышленных залежей нефти и газа, возможности ее не исчерпаны [3]. Вместе с тем существует необходимость изучения внутреннего строения данной толщи в межскважинном пространстве на ранних этапах разведки, когда отсутствуют данные пространственных сейсмических наблюдений. В этом случае изучение особенностей внутреннего строения отложений может быть осуществлено по данным 2D сейсморазведки.

Исходя из выше сказанного, целью данной работы является: изучение особенностей внутреннего строения визейской терригенной толщи по динамическим и кинематическим параметрам сейсмической записи.

Решение поставленной задачи осуществляется по данным сейсморазведки 2D одной из площадей Пермского края.

В административном плане данная площадь работ располагается в Чердынском и Соликамском районах Пермского края. В тектоническом отношении в строении территории принимают участие крупные тектонические элементы Русской плиты: Камский свод, Висимская моноклиналь и Соликамская депрессия.

Терригенная пачка тульского горизонта сложена песчано-алеврито-глинистыми отложениями, образовавшимися в условиях прибрежно-континентальной равнины. В разрезе выделяются пласты Тл2-б и Тл2-а, которые характеризуются невыдержанностью состава. Разрезы большинства скважин на площади представлены алевролитоглинистыми породами, и лишь в трех скважинах присутствуют маломощные (до 2 м) песчаные пласты. Незначительные толщины песчаных тел, отсутствие их резкого контакта с подстилающими породами позволяет отнести их к пескам разливов (фация песчаной поймы), которые накапливаются в периоды паводков (разливов рек). По результатам анализа данных бурения и сейсморазведки предполагается, что тульские отложения представлены, в основном, болотными и пойменными фациями, русловые имеют подчиненное значение и скважинами не вскрыты.

Для изучения особенностей строения визейской терригенной толщи выполнен анализ волновой картины в программном комплексе Dv-SeisGeo. Рассчитаны динамические и кинематические параметры во временном интервале отражающих горизонтов IIn-IIk. На первом этапе вычислены динамические параметры: мгновенные частота, амплитуда, фаза. В ходе анализа этих атрибутов сейсмической записи установлено, что особенности волнового поля наиболее выразительно подчеркивает атрибут «мгновенная частота». Необходимо отметить, что параметр «мгновенная амплитуда» также выявил ряд особенностей строения визейской терригенной толщи, однако, в половине случаев данный атрибут не смог отобразить эрозионные врезы как на разрезах, так и на скатерограммах профилей. Одновременно выполнен анализ кинематического параметра « $\Delta T_0^{IIn-IIk}$ », который в значительной степени отражает трассирование палеорусел. Установлено, что значение $\Delta T_0^{IIn-IIk}$ выше 10 мс соответствует зоне развития палеорусла, так же данному признаку соответствует понижение мгновенной частоты ниже значения 5 Гц.

Для более достоверного прогноза и трассирования эрозионных врезов проведено нормирование данных параметров и их комплексирование. Получившаяся карта представлена на рис. 1. Как видно на данном рисунке, выделенные русла практически полностью совпадают с зонами повышенных значений комплексного параметра ($\Delta T_0^{IIn-IIk}$ + «мгновенная частота»), исключение составляет один из профилей, на котором наблюдаются значительные искажения записи. В итоге анализа карты обобщенного параметра, а также разрезов по профилям, удалось построить систему врезов в виде линейно вытянутых полос шириной около 500 м.

© ГИ УрО РАН, 2015



Рис. 1. Выделение и трассирование визейскиъ эрозионных врезов по динамическим (мгновенная частота) и кинематическим ($\Delta T_0^{IIn-II\kappa}$) параметров

Понижение параметра «мгновенная частота» во врезах, возможно, отображает развитие монотонных песчаных пластов. Установленная форма сейсмической записи в руслах аналогична тульским палеоруслам, выделенным на соседней площади, отработанной по технологии 3D сейсморазведки. Необходимо отметить, что часть палеорусел осложняют своды и слоны выделенных поднятий. Анализ данных глубокого бурения на соседних площадях дает основание утверждать, что сочетание благоприятного струк-

турного фактора с зонами развития визейских врезов является оптимальным вариантом для заложения высокопродуктивных скважин. Сами же врезы, относимые к русловой фации, обычно характеризуются повышенной песчанитостью и являются в сейсморазведке одним из поисковых признаков выявления скоплений УВ, так как могут служить каналами их вторичной миграции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. – М.: ООО «Издательство «Спектр», 2008. – 384 с.

2. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. – Тверь: Издательство АИС, 2006. – 744 с., 204 ил.

3. Неганов В.М. Сейсмогеологическая интерпретация геофизических материалов Среднего Приуралья и перспективы дальнейших исследований на нефть и газ: монография / Перм. Ун-т. – Пермь, 2010. – 248 с.

4. Путилов И.С. Разработка технологии комплексного изучения геологического строения и размещения месторождений нефти и газа: моногр. / И.С. Путилов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. Ун-та, 2014. – 285 с.

EROSIONAL INCISION ISOLATION BY DYNAMIC AND KINEMATIC PARAMETERS OF SEISMIC DATA ON THE EXAMPLE OF SEISMIC SURVEY 2D

Murtazin Damir Gumarovich JSC "Permneftegeofizika", Perm damirmrt@gmail.com

Abstract. Dynamic and kinematic interpretation of 2D seismic data, erosional incision isolation of Visean terrigenous strata. The object of study: 2D seismic area in the north of the Perm region.

Keywords: seismic 2D, dynamic interpretation, channels, Visean sediments.

УДК 519.63 К ЗАДАЧЕ ДИФФУЗИИ-АДВЕКЦИИ РАДОНА В КУСОЧНО-ПОСТОЯННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ СЛОИСТЫХ СРЕДАХ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Нафикова Альбина Ринатовна СФ БашГУ, г. Стерлитамак albinabikbaeva@gmail.com

Аннотация. Изучение процессов распределения радона в грунте и его стока в приземный слой атмосферы связано с решением параболических краевых задач математической физики. Разработка алгоритмов их решения и программ расчета имеет практическое значение в таких направлениях, как сейсмология, геохимия, разведочная геофизика и т.д. В данной работе представлены результаты вычислительного эксперимента, иллюстрирующие процессы переноса радона в кусочно-постоянных анизо-

тропных слоистых средах с включениями. Ключевые слова: диффузия-адвекция радона, анизотропная среда, краевая задача, вычислительный эксперимент

Ранее в работе [2] построена математическая модель процессов диффузииадвекции радона в слоистых анизотропных средах с анизотропными включениями, которая представляет краевую задачу математической физики параболического типа, и описан способ решения на основе методов интегральных преобразований, интегральных представлений и граничных интегральных уравнений.

В соответствии с предложенным алгоритмом решения поставленной задачи разработан программный комплекс расчета поля объемной активности радона средствами компьютерной системы Maple. Составляющими данного комплекса являются программные модули, реализующие: 1) численное обращение преобразования Лапласа; 2) вычисление функции нормального поля радона; 3) вычисление функции Грина; 4) вычисление функции аномального поля радона.

Апробация программного модуля обращения преобразования Лапласа с помощью обобщенных квадратурных формул наивысшей степени точности проведена при расчете температурного поля ограниченного цилиндра при отсутствии внутренних источников тепла [1].

В качестве апробации программного модуля функции нормального поля радона рассмотрена задача нахождения функции распределения объемной активности радона в пятислойной кусочно-однородной плоско-параллельной горизонтально-слоистой среде при следующих значениях ее параметров:

$$\begin{split} &z_0 = 0 \, \text{\textit{m}}, \, z_1 = 1 \, \text{\textit{m}}, z_2 = 3 \, \text{\textit{m}}, \, z_3 = 6 \, \text{\textit{m}}; P = (2,2,z), \, \text{\textit{ede}} \, z = -10, -1, \dots, 2; \\ &v_{0.0} = v_{4.1} = 4 \cdot 10^{-5} \, \, \text{\textit{m}}/c, \, v_{i.0} = 4 \cdot 10^{-6} \, \, \text{\textit{m}}/c; \, D_{0.0} = D_{4.1} = 3 \cdot 10^{-5} \, \, \text{\textit{m}}^2 \, / \, c, \, D_{i.0} = 3 \cdot 10^{-6} \, \, \text{\textit{m}}^2 \, / \, c; \\ &A_{1.Ra} = 90 \, \, \text{\textit{Ek}} \, / \, \text{\textit{m}}^3, \, A_{2.Ra} = 4 \, \, \text{\textit{Ek}} \, / \, \text{\textit{m}}^3, \, A_{3.Ra} = 30 \, \, \text{\textit{Ek}} \, / \, \text{\textit{m}}^3, \, A_{4.Ra} = 1000 \, \, \text{\textit{Ek}} \, / \, \text{\textit{m}}^3; \, K_{i.em} = 0.2 \, , \\ &\rho_{i.s} = 2700 \, \, \text{\textit{Ke}} \, / \, \, \text{\textit{m}}^3, \, \eta_i = 0.45, \, i = \overline{1,4}. \end{split}$$

Полученные результаты (рис. 1) согласуются с приведенными в работе [3].



Рис. 1. График функции нормального поля радона (в Бк/м³) в различные моменты времени t

На рис. 2 приведены результаты численных расчетов значений функции Грина – функции точечного источника, находящегося в произвольной точке и генерирующего диффузионное поле единичной интенсивности в слоистой среде без включений. Источник находится в точке (0,0,-8).



Рис. 2. График функции Грина в различные моменты времени t

Численные расчеты функции распределения объемной активности радона в кусочно-однородной плоско-параллельной горизонтально-слоистой среде (при тех же значениях ее параметров) с шарообразным включением $\Omega_{4.1}$ радиуса $R = 0.5 \ m$ с центром в точке (1,1,-7) (рис. 3). Физические свойства данного включения описываются симмет-

в точке (1,1,-7) (рис. 5). Физи теские стата ричным тензором диффузии $D_{4.1} = \begin{pmatrix} 3 \cdot 10^{-5} & 0 & 0 \\ 0 & 3 \cdot 10^{-5} & 0 \\ 0 & 0 & 3 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}$ и скоростью адвекции со

значением $v_{4,1} = 4 \cdot 10^{-5} \ \text{м/c}$.

Результаты численного моделирования приведены на рис. 4.

На рис. 4а изображен график функции нормального поля радона при $t = 10^6 c$. Влияние включения отражено на рис. 4б.



Рис. 4. График функции распределения объемной активности радона (кБк/м³)

Особый интерес с геофизической точки зрения представляет построение поверхности функции диффузионного поля над включением.

На рис. 5 при тех же значениях параметров геологической среды построен график поверхности искомой функции объемной активности радона, где $x \in [-2,4], y \in [0,3].$

В случае анизотропного шарообразного включения $\Omega_{4,1}$, диффузионные свой-

ства которого описываются тензором $D_{4.1} = \begin{pmatrix} 3 \cdot 10^{-5} & 10^{-5} & 0\\ 10^{-5} & 5 \cdot 10^{-5} & 0\\ 0 & 0 & 3 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}$, график поверх-

ности искомой функции объемной активности радона будет иметь вид (рис. 6).



Рис. 5. График поверхности функции распределения объемной активности радона (Бк/м³)



Рис. 6. График поверхности функции распределения объемной активности радона с учетом анизотропии включения (Бк/м³)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кризский В.Н., Бикбаева А.Р. О вычислении температурных и диффузионных полей в кусочно-постоянных анизотропных средах // Вестник Башкирского государственного университета. – 2013. – Т.18, №2. – С. 313-316.

2. Кризский В.Н., Нафикова А.Р. Математическое моделирование процессов диффузии-адвекции радона в кусочно-постоянных анизотропных слоистых средах с включениями // Вестник ЮУрГУ. Математическое моделирование и программирование. – 2014. – №2. – С. 38-45.

3. Яковлева В.С., Паровик Р.И. Численное решение уравнения диффузии- адвекции радона в многослойных геологических средах // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. – 2011. – №1 (2). – С. 45-55.

TO THE PROBLEM OF PROCESSES OF DIFFUSION AND ADVECTION OF RADON IN PIECEWISE AND CONSTANT ANISOTROPIC LAYERED MEDIA WITH INCLUSIONS

Nafikova Albina SB BGU, Sterlitamak albinabikbaeva@gmail.com

Abstract. Studying of processes of distribution of radon in soil and its drain in a prizemny layer of the atmosphere is connected with the solution of parabolic boundary problems of mathematical physics. Development of algorithms of the solutions of this type of problems and programs of calculation has practical value in such directions as seismology, geochemistry, prospecting geophysics, etc. In this work the results of computing experiment illustrating processes of transfer of radon in piecewise and constant anisotropic layered media with inclusions are presented.

Key words: diffusion and advection of radon, anisotropic media, boundary problem, computing experiment

УДК 550.380

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДЫ ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ, ОБНАРУЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Оганян Марине Ваниковна, Симонян Анаит Оганесовна, Мецоян Тигран Арамич ИГИС НАН РА, г. Гюмри marine-0882@mail.ru, as iges@freenet.am, litsine@rambler.ru

Аннотация. Динамические процессы, протекающие в земной коре и верхней мантии, отражаются в вариациях геомагнитного поля и их аномалиях. В данной работе изучается природа локальных аномалий геомагнитных вариаций, обнаруженных в северной части территории Армении. Ключевые слова: пространственные и временные геомагнитные вариации, локальные аномалии

Магнитное поле Земли, наблюдаемое на земной поверхности, создается магнитогидродинамическими процессами, протекающими в электропроводящих слоях земных недр и окружающего пространства. Поле, вызванное магнитной восприимчивостью пород, залегающих в земной коре и верхней мантии, где температура ниже точки Кюри, подвергается лишь медленным изменениям. Благодаря электрической проводимости этих слоев Земли, под воздействием внутренней и внешней природы переменных электромагнитных полей, в них возникают индукционные токи, магнитное поле которых отражается в данных наблюдениях. В геомагнитных вариациях отражаются особенности пространства, в котором они протекают, а также физико-химические особенности слоев Земли [1]. Выделение и изучение амплитудно-частотного состава этих вариаций и индуцированного ими поля имеет важное значение, поскольку они могут содержать информацию о развитии геодинамических процессов в недрах Земли [2, 3, 4, 5].

Для выделения особенностей геомагнитных вариаций на территории Армении проанализированы данные наблюдений модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля (Т) за период с 1 октября 2007 г. по 30 ноября 2008 г. на станциях "Бавра" и "Гюлагарак", расположенных в северной части территории Армении. Обнаружены локальные аномалии векового хода, который в точке "Гюлагарак" составляет 0.9 нТл/г и в точке "Бавра" – 3.7 нТл/г [8, 9]. Для изучения природы выделенных локальных аномалий в данной работе изучаются геолого-тектоническое строение и сейсмическая активность региона геомагнитных наблюдений.

Изучение тектонической структуры исследуемой территории показывает, что соответствующая часть земной коры имеет достаточно сложный характер блокового строения. На территории исследований помимо продольных (обще-Кавказских) разломов выявлен ряд поперечных разломов глубокого заложения, которые разграничивают блоки земной коры и достаточно четко устанавливаются геолого-геофизическими ис-



следованиями [10]. Территория рассечена серией разломов Кавказского и анти-Кавказского направлений на приподнятые и опущенные блоки (рис. 1).

Рис. 1. Схема разломов северной части территории Армении и эпицентры землетрясений. 1 – глубинные разломы, возникшие в альпийском тектоническом периоде; 2 – другие региональные, "ныне живущие", отраженные в рельефе разломы, установленные геофизическими данными (Габриелян и др, 1981); кружочки – эпицентры землетрясений соответствующей магнитуды.

Станция "Гюлагарак" находится между Базум-Севанским глубинным разломом и Арарат-Спитак-Приволноевским разломом. В окрестностях станции "Гюлагарак" отмечены вулканогенные породы верхнего эоцена, которые залегают над вулканогенными породами среднего эоцена и представлены порфиритами, дацитами, андезитодацитами и их пирокластами [12]. Здесь широко обнажается мощная свита туфов дацитового состава, прослаивающихся покровами и потоками полосчатых дацитовых порфиритов (в самых низах свиты), плагиоклазовых и авгитовых порфиритов и туфопесчанников. В верхней части свиты залегает также ряд пластов известковистых туфопесчанников, несущих оруденение свинца, цинка, частично меди и железа. Мощность свиты составляет около 800 м. Над этой свитой залегает свита туфопесчанников и пелитоморфных туфов мощностью до 500 м. Выше по разрезу залегает толща андезитодацитовых и дацитовых лав с базальными туфоконгломератами в основании, включающими гальку из подсылающих пород, а также гальку вторичных оруденельных кварцитов. Таким образом, состав верхнеэоценового разреза делится на две части: нижняя эффузивно-осадочная с преобладанием андезитов и морских терригенно-туфогенных пород, и верхняя эффузивная, преимущественно кислого и среднего состава. Общая мощность свиты составляет более 1500 м [14, 10]. Так как значения магнитных характеристик залегающих в окрестности этой точки пород меняются в достаточно широких пределах – от высоких до самых низких (табл. 1), а сам пункт окружен глубинными разломами, то, более вероятно, что обнаруженная небольшая аномалия вековых геомагнитных вариаций связана с токами индукционной природы, которые возникают от внешних вариаций в неоднородной по электропроводности части земной коры вблизи этой точки геомагнитных наблюдений.

Сводная таблица намагниченности горных пород исследуемой территории [12]							
Возраст Наименова породы			Намагниченность				
		Наименование породы	Кол. опре- делений	χ-10-6CΓC		$J_n \cdot 10^{-6} C \Gamma C$	
				среднее значение	предел изменения	среднее значение	предел изменения
Неоген	Четвертичный	Базальты, анде- зито-базальты, андезито-дациты и дациты	400	2300	300-39000	600	400-3500
	Верхний плиоцен	Долеритовые и оливиновые ба- зальты, андезито- базальты, анде- зиты, дациты, андезито-дациты, липариты и туфы	590	1800	250-90000	1500	460-25000
Палеоген		Известняки	3	20	15-30		
	Верхний-	Порфириты и	283	500	0-2000	400	5-1250
	средний	туфы	470	2350	230-11000	1500	100-17000
	эоцен	Туфогенные по-	440	70	6-2600	290	10-500
		роды	413	430	0-400	40	0-400

Таблица 1

Станция "Бавра", где обнаружена локальная аномалия векового хода величиной 3.7 нТл/г., расположена между Базум-Севанским глубинным разломом, Джавахетским и Ехнахахским разломом (рис. 1). Она является частью Ашоцк-Джавахетской области Армянского вулканического нагорья, представленного вулканогенными лавами андезито-дацитов, андезитов, дацитов, андезито-базалтов (андезито-дацитовая толща) неоген четвертичного возраста [11, 12]. Эти породы характеризуются не только высокой магнитной восприимчивостью, но и высокой остаточной намагниченностью (табл. 1), значительно (в 5-15 раз) превышающей индуцированную намагниченность [12]. Это означает, что остаточная намагниченность эффузивных пород этого возраста может явиться определяющим фактором в формировании аномального магнитного поля, так как минимальная величина намагниченности, которой должна обладать порода, способная вызвать аномальное поле, определяется из условия $4\pi J_{min} = 10 \cdot 10^{-5}$ Э., и составляет $J_{min} \approx 1 \times 10^{-5}$ ед. СГС [13]. Отсюда очевидно, что обнаруженная разница между осредненными по времени абсолютными значениями величины поля, характерного для станций "Гюлагарак" и "Бавра", составляющая 200 нТл, обусловлена различием остаточной намагниченности пород и определяет величину аномального магнитного поля. Благодаря высокой магнитной восприимчивости пород, залегающих вблизи пункта "Бавра" (табл. 1), при изменении поля упругих напряжений может образоваться локальная аномалия векового хода за счет пьезомагнитного эффекта [5, 6, 7].

Таким образом, обнаруженная в этой точке аномалия векового хода интерпретирована как следствие изменения поля тектонических напряжений, отражающегося в сейсмической активности данного региона.

Схематическое представление местоположения эпицентров землетрясений, произошедших на территории систематических геомагнитных наблюдений, показано на рисунке 1. На рис. 2 представлены гистограммы по количеству всех землетрясений, произошедших в северной части территории Армении, за период 2006-2013 гг., и гистограмма по количеству только тех землетрясений, которые произошли в той части Ашоцк-Джавахетской области, где находится пункт геомагнитных исследований "Бавра".



Рис. 2. Количество землетрясений в северной части территории Армении и в Ашоцк-Джавахетском нагорье (в области ограниченном Базум-Севанским, Джавахетским и Ехнахахским разломами)

Исследование всех землетрясений, произошедших в северной части территории Армении в соответствующий период времени (рис. 1, 2), показывает, что Ашоцк-Джавахетская область Армянского вулканического нагорья является сейсмически активной. В период и после периода геомагнитных исследований вблизи станции "Бавра" произошли несколько землетрясений с магнитудой М≤4,5 и малой глубиной очага. Следовательно, можно заключить, что обнаруженная по данным этой станции аномалия вековых геомагнитных вариаций, имеет тектономагнитную природу, и образуется за счет пъезомагнитного эффекта. При этом, на территории вблизи пункта "Гюлагарак", где мы не получили уверенных отклонений от регионального фона вековых вариаций в соответствующий период времени, землетрясения не зафиксированы. Аномалия геомагнитных вариаций, обнаруженная по данным наблюдений в точке "Гюлагарак", имеет, скорее всего, индукционную природу. Она может быть вызвана внешними геомагнитными вариациями, отражающими изменение солнечной и геомагнитной активности, за счет неоднородностей электропроводности территории вблизи пункта наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hulot G., Sabaka T., Olsen N. The present field // In Geomagnetism. Treatise Geophys. – V. 5. – Ed. G. Schubert, Elsevier, New York, 2007. – P. 33-75.

2. Zlotnicki J., Le Mouel J.L. Possible electrokinetic origin of large magnetic variations // La Fournaise volcano. – Nature. – 343 (62590). – 1990. – P. 633-636.

3. Сковородкин Ю.П., Безуглая Л.С. Связь геомагнитных вариаций с гидрорежимом на Гармском полигоне // Изв. АН СССР Физика Земли. – №4. – 1980.

4. Ундзенков Б.А., Шапиро В.А. Сейсмомагнитный эффект на месторождении магнетита // Изв. АН. СССР. Физика Земли. – №1. – 1967. – С. 121-126.

5. Stacey F.D. The seismomagnetic effect // Pure Appl. Geophys. – 58, (5). – 1964. – P. 5-22.

6. Stacey F.D., Davis P.M. Geomagnetic anomalies caused by a man-made lake // Nature. $-240. - N_{2}5350, 348. - 1972.$

7. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. – Москва: Изд. «Мир», 1979.

8. Симонян А.О., Оганян М.В., Хачатрян А.С. Анализ вариаций внешних источников в сопоставлении с магнитных наблюдений по территории Армении // Изв. НАН РА. Науки о Земле. – т. 64. – № 3. – 2011. – С. 50-60. 9. Симонян А.О., Оганян М.В., Хачатрян А.С. Особенности геомагнитных вариаций в северной части территории Армении // Изв. НАН РА. Науки о Земле. – т. 65. – № 1-2. – 2012. – С. 43-54.

10. Габриелян А.А., Саркисян О.А. Симонян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР. – Ереван, 1981.

11. Саркисян О.А. Региональная геотектоника Армении. – Ереван: Издательство Ереванского университета, 1989. (на армянском языке).

12. Геология Армянской ССР // Геофизика. – том Х. – Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1972.

13. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Изд. Ленинградского университета, 1978.

14. Асланян А.Т. Региональная геология Армении. – Айпетрат, Ереван, 1958.

STUDY OF THE NATURE OF THE GEOMAGNETIC FIELD LOCAL ANOMALIES, DETECTED IN THE NORTH PART OF THE TERRITORY OF ARMENIA

Ohanyan Marine, Simonyan Anahit, Metsoyan Tigran ИГИС НАН РА, г. Гюмри marine-0882@mail.ru, as_iges@freenet.am, litsine@rambler.ru

Summary. The dynamical processes taking place in the Earth's crust and upper mantle are reflected in geomagnetic variations and their anomalies. The nature of the geomagnetic field local anomalies, detected in the north part of the territory of Armenia is investigated in this article.

Key words: spatial and temporal variations of the geomagnetic field, local anomalies

УДК: 550.382.3 (477)

ГЛУБИННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ И МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ПОРОД ЗЕМНОЙ КОРЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО АВЛАКОГЕНА

Орлюк Михаил Иванович, Друкаренко Виктория Владимировна ИГФ НАН Украины, г. Киев orlyuk@igph.kiev.ua, vdrukarenko@yandex.ru

Аннотация. Приведены теоретические и экспериментальные обоснования связи нефтегазовых месторождений с расположением региональных и локальных источников магнитного поля (Δ T)а, а также разломноблоковой тектоникой консолидированной коры. Экспериментально доказано, что магнитный аспект нефтегазоносности земной коры обусловлен новообразованием или преобразованием железосодержащих минералов в магнитные разности под воздействием восстановительных флюидов. Ключевые слова: нефтегазоносность, Днепровско-Донецкий авлакоген, магнитная восприимчивость

В пределах нефтегазоносных областей и провинций Украины нефтегазовые месторождения и перспективные структуры контролируются расположением региональных и локальных источников магнитного поля (ΔT)а, а также разломно-блоковой тектоникой консолидированной коры [5, 6, 8]. К тому же имеются многочисленные доказательства идей геологов-нефтяников о том, что большинство месторождений углеводородов контролируется глубинными разломами [1, 4, 6, 8, 13, 14, 16 и многие другие].

Источники локальных аномалий нефтегазоносных регионов Украины в данном случае истолковываются как "места реализации" глубинных разломов (или их разветвлений) режима растяжения земной коры в кристаллическом основании и низах осадочного чехла, т.е. пути прохождения по ним глубинных углеводородов. Источники положительных региональных магнитных аномалий приурочиваются к мантийным глубинным разломам, с которыми в первом приближении связаны разновозрастные рифтогенные и краевые прогибы [7, 10]. При этом обнаружена зависимость фазового состава углеводородов по отношению к региональным источникам, а именно, газовые и газоконденсатные месторождения располагаются над их апикальными частями, нефтегазовые и нефтегазоконденсатные – над зонами сочленения со слабомагнитными блоками коры, а нефтяные – над слабомагнитными участками консолидированной коры.

Открытие явления "зараженности" коллекторов нефти и газа дисперсными самородно-металлическими частицами – трассерами суперглубинных флюидов [4] – и результаты экспериментов по преобразованию железосодержащих минералов дают новые возможности установления генетической и структурной связей магнитной неоднородности консолидированной и осадочной частей земной коры с месторождениями углеводородов и путями их миграции. Глубинно-магнитный аспект нефтегазоносности земной коры обусловлен новообразованием или преобразованием железосодержащих минералов в магнитные разности (в основном, магнетит Fe₃O₄, самородное железо α -Fe и пирротин FeS) в ослабленных зонах Земли (зонах глубинных разломов) под воздействием восстановительных флюидов [5, 11, 12]. В соответствии с экспериментальными исследованиями, могут быть намечены пути образования этих минералов [5, 12]: 1. Из разложения вюстита при температуре ниже 570°С:

 $4\text{FeO}\rightarrow\text{Fe}_3\text{O}_4 + \alpha\text{-Fe}$

2. Восстановление вюстита углеродом или окисью углерода, протекающее при относительно низких давлениях и T = 700°C:

$$FeO + C \rightarrow \alpha - Fe + CO$$

 $FeO + CO \rightarrow \alpha - Fe + CO_2$

3. При наличии гематита могут протекать реакции вида:

 $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 (T=400^{\circ}C),$

 $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3Fe + 4CO_2 (T=700^{\circ}C)$

4. Восстановление железа водородом либо природным газом при T=400-500°C:

 $FeO + H_2 \rightarrow \alpha - Fe + H_2O$,

 $FeO + 3 H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O.$

5. При серпентинизации, очевидно, за счет возникновения восстановительной среды по реакции типа:

 $3MgFe(SiO_4)+3H_2 O \rightarrow Mg_3(OH_4) [Si_2 O_5]+Fe_3 O_4+SiO_2+H_2$

 $Fe_3 O_4 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2 O$

6. Восстановление самородного железа из минералов:

 $Fe_2 [SiO_4] + H_2 \rightarrow Fe + FeO + SiO_2 + H_2 O_1$

 $Fe_2[SiO_4]+CO \rightarrow FeO+SiO_2+CO_2+Fe$,

 $2Fe[SiO_4]+CH_4 \rightarrow 2SiO_2 + CO_2 + 2H_2O + 4Fe$,

 $FeSiO_3 + H_2 \rightarrow Fe + SiO_2 + H_2 O.$

По данным [2], ферросилит начинает восстанавливаться при T=500-600°C. Наиболее реакционным по отношению к водороду является магнетит (от 600°C и вы-

ше), на втором месте – пироксен, оливин в этих условиях устойчив. Отметим также, что водород является более сильным восстановителем по сравнению с окисью углерода. Так, при температуре 400°С окислы в 10 раз быстрее восстанавливаются H₂ по сравнению с СО. Непосредственно в осадочном чехле увеличение или уменьшение величины магнитной восприимчивости пород под действием углеводородов зависит от состава соединений железа, образование которых контролируется геохимическими и термобарическими условиями [19]. В присутствии углеводородов образуются магнетит, пирротин, пирит и сидерит, а гематит разрушается. Относительная интенсивность магнитных аномалий над скоплениями углеводородов зависит от того, какое количество магнетита образовалось при разрушении гематита и формировании соединений серы в виде пирротина, поскольку они представляют наиболее магнитные минералы. Магнитная восприимчивость пород, подвергшихся воздействию углеводородов, может увеличиваться или уменьшаться, поскольку все окислы железа, наконец, восстанавливаются до магнетита (ферромагнетик), а сульфиды – в пирит (парамагнетик). Поэтому в локальном аномальном магнитном поле скопления углеводородов могут выделяться как положительными, так и отрицательными аномалиями.

Свойство углеводородов изменять магнитную восприимчивость пород было подтверждено лабораторными экспериментами на образцах осадочных и кристаллических пород Предкарпатского прогиба [18]. Нами также было изучено изменение у для насыщенных и ненасыщенных образцов горных пород под влиянием температуры (до 350°С) для Строевской, Зорьковской, Борковской и Нежинской скважин [9]. Анализ результатов показал, что для аргиллитов, алевролитов, мергелей, туфобрекчий, песчаников обнаружено увеличение магнитной восприимчивости, но в ряде случаев не наблюдалось аномального ее возрастания, а у некоторых даже происходило уменьшение. Весьма разнообразный характер поведения магнитной восприимчивости может быть объяснен исходным составом пород, наличием и формами нахождения железа. В случае, если железа в породе нет, либо оно полностью находится в составе породообразующих минералов, то изменение магнитной восприимчивости может происходить только за счет его привнесения флюидом, или выделения из минералов, что возможно при температурах более 500°С. В случае нахождения железа в виде акцессорных минералов, добавок или растворимом состоянии (Fe, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, Fe (OH)₂), то с изменением окислительно-восстановительной среды будет происходить минеральное преобразование с соответствующим изменением магнитной восприимчивости.

В пределах юго-восточной части ДДА обнаружены углеводороды глубинного происхождения с промышленной нефтегазоносностью архей-протерозойского фундамента ее северного борта [17, 3]. В этом отношении исследования магнитной восприимчивости и плотности разрезов скважин северо-западной части ДДА, часть из которых (Строевская, Борковская и Борзнянская) приурочены к северному краевому глубинному разлому, могут свидетельствовать о наличии условий для поступления и накопления глубинных углеводородов (рис. 1).

В частности для Строевской скважины наблюдается некоторое увеличение плотности пород с глубиной от $\sigma = 2.25$ г/см³ до $\sigma = 2.8$ г/см³ (коэффициент корреляции r = 0.65), при менее значимом уменьшении их магнитной восприимчивости. Но в интервале 1700-2000 м плотность аргиллитов и известняков несколько уменьшается с глубиной, а их магнитная восприимчивость увеличивается. Такая зависимость при постоянном составе пород, возможно, объясняется геохимическими причинами, скорее всего, наличием флюида. Частичным подтверждением этого могут служить приливы нефти на расположенных поблизости Гриборуднянском и Ловинском участках. Для Зорьковской скважины, которая раскрыла верхнюю часть девона и открыла залежь углеводородов в горизонте B-22 и Червонозаводско-Рудовскую зону нефтегазонакопле-

ния, можно отметить некоторое уменьшение плотности и увеличение магнитной восприимчивости глубже 5500 м. Для Борзнянской параметрической скважины до глубины 3400 м наблюдается увеличение плотности песчаников и аргиллитов с глубиной, а также менее видимое уменьшение магнитной восприимчивости. Обращают на себя внимание повышенные значения магнитной восприимчивости пород низов (3400-3650 м) верхнего надсолевого отдела девона.



Рис. 1. Аномальное магнитное поле $(\Delta T)_a$ и схема расположения скважин. 1 – граница ДДА

В исследуемых скважинах были обнаружены интервалы с разуплотненными породами, которые сопровождаются повышенными значениями магнитной восприимчивости. Такие интервалы выделяются на разных глубинах в Строевской, Борзнянской, Нежинской, Зорьковской, Петровской, Гужевской и Савинковской скважинах. В соответствии с работами [5, 15], такие участки могут быть потенциально нефтегазоносными. Также выделяются области разуплотнения аргиллитов глубже 5000 м, вплоть до кристаллического фундамента, на фоне слегка повышенной магнитной восприимчивости. Это создает предпосылки для образования на этих глубинах, а также, вероятно, в кристаллическом фундаменте, условий для скопления глубинных углеводородов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасарова М.В. Современная геодинамика и новые критерии поисков нефтегазовых месторождений // Недропользование XXI век. – №4. – 2013. – С. 56-61.

2. Гантимуров А.А. Флюидный режим железокремниевых систем. – Новосибирск: CO AH CCCP, 1982. – 106 с.

3. Гейко Т.С., Лукин А.Е., Омельченко В.В., Цеха О.Г. Тектоно-геодинамические критерии нефтегазоносности кристаллического фундамента северного борта Днепровско-Донецкого авлакогена // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Современные методы сейсморазведки при поисках

месторождений нефти и газа в условиях сложнопостроенных структур» (Сейсмо-2013). АР Крым, 15-21 сентября 2013 г.

4. Лукин А.Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов – трассеры суперглубинных флюидов // Геофизический журнал. – Т.31, №2. – 2009. – С. 61-92.

5. Орлюк М.І. Нафтогазоносність земної кори України у зв'язку з її намагніченістю // Нафтова і газова промисловість. – № 3. – 1994. – С. 16-19.

6. Орлюк М.И., Пашкевич И.К. Некоторые аспекты взаимосвязи нефтегазоносности с намагниченностью земной коры Украины // Геофизический журнал. – Т.18, №1. – 1996. – С. 46-52.

7. Орлюк М.І. Магнітна модель земної кори південного заходу Східноєвропейської платформи: Дис.... д-ра геол. Наук. – Київ: Інститут геофізики НАН України, 1999. – 404 с.

8. Орлюк М.И., Пашкевич И.К. Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры Шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов // Геофизический журнал. – Т.33, №6. – 2011. – С. 136-151.

9. Орлюк М.И., Друкаренко В.В. Магнитная восприимчивость пород северозападной части Днепровско-Донецкой впадины // Геофизический журнал. – Т.32, №1. – 2010. – С. 78-91.

10. Пашкевич И.К., Орлюк М.И., Лебедь Т.В. Магнитная неоднородность, разломная тектоника консолидированной земной коры и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого авлакогена // Геофизический журнал. – Т.36, №1. – 2014. – С. 64-80.

11. Пашкевич И.К., Орлюк М.И., Елисеева С.В. Региональные магнитные аномалии: решение фундаментальных и прикладных задач // Геофизический журнал. – Т.18, №6. – 1996. – С. 3-17.

12. Петромагнитная модель литосферы. – К.: Наукова думка, 1994. – 175 с.

13. Порфирьев В.Б. Природа нефти, газа и ископаемых углей // Избранные труды: В 2 т. – К.: Наук. Думка, 1987. – 216 с.

14. Расковалов Д.Ю. О закономерностях и причинах отражения месторождений углеводородов в региональном магнитном поле Западной Сибири // Вестник Томского Государственного университета. – №3. – 2009. – С. 212-216.

15. Слепак З.М. Гравитационное моделирование гетерогенных структур при поисках нефти и газа: Автореферат диссертации доктора геол.-мин. наук. – Киев, 1985. – 35 с.

16. Тимурзиев А.И. Современное состояние теории и практики поисков нефти: тезисы к созданию научной теории прогнозирования и поисков глубинной нефти // Материалы Всероссийской конференции по глубинному генезису нефти «1-е Кудрявцевские чтения: Современное состояние теории происхождения, методов прогнозирования и технологий поисков глубинной нефти», Москва, 22-25 октября 2012 г. – М.: ОАО «ЦГЭ», 2012. – С. 52-60.

17. Чебаненко И.И., Краюшкин В.А., Клочко В.П., Гожик П.Ф., Евдощук Н.И., Гладун В.В., Маевский Б.И., Толкунов А.П., Цеха О.Г., Довжок Т.Е., Егурнова М.Г., Максимчук П.Я. Нефтегазоперспективные объекты Украины. Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов. – К.: Наукова думка, 2002. – 293 с.

18. Bucha V. Geomagnetism of the external flysch special czechoslovakian Carpathians and the possible causes of anomalous // Geophysical Manifestanions. Studia Geophysica Et geodaetica. – V. 24. – 1984. – P. 227-251.

19. Machel H.G., Burton E.A. Burial-diagenetic sabkha-like gypsum and anhydrite modules // J. Sedim. Petrol. – 61. – 1991. – P. 349-405.

DEEP HYDROCARBONS AND MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF THE CRUSTAL ROCKS OF THE DNIEPER-DONETS AVLAKOGEN

Orlyuk Mykhailo, Drukarenko Viktoriya

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, г. Киев orlyuk@igph.kiev.ua, vdrukarenko@yandex.ru

Summary. Theoretical and experimental substantiations of the connection of oil and gas fields with localization of regional and local sources of the magnetic field (Δ T)a as well as fault-block tectonics of the crust are observed. Experimentally proved that the magnetic aspect of the oil and gas potential of the crust is caused by growth or transformation of iron bearing minerals to the magnetic differences by the influence of reduced fluids.

Key words: oil-and-gas content, Dnieper-Donets avlakogen, magnetic susceptibility

УДК 523.681 (476.2)

УЗОВСКИЙ МЕТЕОРИТ: СТРУКТУРА, СОСТАВ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Островский Артем Михайлович ГГМУ, г. Гомель, Беларусь Arti301989@mail.ru

Аннотация. Изучение метеоритов, как образцов космического вещества, представляет большую научную ценность. В данной статье приводится анализ структуры и морфологии хондр Узовского метеорита, найденного 15 августа 2006 г. в окрестностях г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского р-на Гомельской области (Республика Беларусь). На основании проведенного исследования высказано предположение, что хондры метеорита являются остатками капель, возникших в процессе конденсации солнечного газа. Ключевые слова: Узовский метеорит, структура, состав, происхождение

Метеориты были и, несмотря на интенсивное развитие космических исследований, остаются ключевым, а зачастую и единственным источником информации о протопланетной и ранней планетной истории Солнечной системы. Их исследование является предметом таких наук, как космическая минералогия, космохимия и космохронология. Благодаря детальному изучению метеоритов в земных лабораториях мы получаем новые ценные данные о химическом составе отдельных тел Солнечной системы. В частности, неоценимо значение метеоритов, как образцов космического вещества, изучая которые мы можем воссоздать их историю, реконструировать родительские тела, из которых они образовались [1, 2, 5, 7, 9]. Таким образом, можно с уверенностью сказать о том, что метеориты – свидетели эволюции протопланетного диска.

Все известные на сегодняшний день метеориты по вещественному составу подразделяются на каменные, железо-каменные и железные. Наиболее часто встречаются каменные метеориты, и в частности, хондриты (85,7% от общего числа падений) [1, 9].

Хондриты – это каменные метеориты, содержащие округлые зерна – хондры – размеры которых колеблются от одного до нескольких миллиметров. Хондритовые метеориты представляют собой наиболее распространенный и примитивный тип метеори-

тов. В хондритах, имеющих первичный солнечный состав, отношение содержания калия и урана составляет около 10^5 , т.е. на порядок больше, чем для Земли и Венеры. Средняя плотность обыкновенных хондритов равна 3,7 г/см³, а углистых – 2,1 г/см³. Но, несмотря на то, что к ним принадлежит более 90% каменных метеоритов, структура и состав хондритов остаются недостаточно изученными [1, 2].

15 августа 2006 года на берегу реки Уза около г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского района Гомельской области (рис. 1) был найден довольно крупный каменный метеорит, принадлежащий к обширному классу хондритов. Проведенные нами ранее исследования показали уникальность данного небесного тела. Высокое содержание хондр по сравнению с межхондровым веществом позволило предположить, что Узовский метеорит является хондритом особого класса [4-8]. Дополнительные исследования места падения обнаружили цепочку отдельных фрагментов вещества метеорита на расстоянии от 5 до 15 м от основной воронки. Благодаря этому стало возможным установить истинную траекторию полета метеорита до его падения (рис. 2).



Рис. 1. Место обнаружения Узовского метеорита на окраине г.п. Уваровичи



Рис. 2. Траектория полета Узовского метеорита (схематический рисунок)

На момент обнаружения поверхность фрагментов Узовского метеорита была покрыта тонкой (до 1 мм) коркой плавления, имеющей черновато-бурый цвет, местами серый от намазок почвы (рис. 3). Эта корка плавления покрывала метеорит со всех сторон и особенно хорошо была заметна по краю излома фрагментов метеорита. Поверхность, покрытая коркой плавления, отличалась сглаженностью выступов. Отклонение стрелки компаса при подносе к наиболее крупным образцам Узовского метеорита говорит о наличии электромагнитного поля. Метеорит легко крошился и распадался на части, при этом было заметно, что внутреннее вещество метеорита состояло из округлых хондр разного диаметра (рис. 4).



Рис. 3. Фрагменты Узовского метеорита, снаружи покрытые коркой плавления



Рис. 4. Внутреннее вещество метеорита, состоящее из хонд различного диаметра

Минералогический анализ хондр показал, что они состоят из железо-магниевых силикатов, имеют радиальное строение с нецентральным пересечением лучей. Главная составляющая – магнезиальный (Mg₂SiO₄) и железный (Fe₂SiO₄) оливины, а также пироксены (MgSiO₃ и FeSiO₃) и железо-никелевые сплавы.

Спектроскопический анализ хондр показал, что они состоят из того же вещества, что и основное тело метеорита. Исследования вещества хондр Узовского метеорита в проходящем свете под микроскопом выявили следующие особенности их морфологии и структуры (рис. 5).



Рис. 5. Вещество хондр Узовского метеорита в проходящем свете под увеличением (видны металлические и силикатные включения)

Анализ показал, что в хондрах содержатся практически все химические элементы, причем (за небольшими исключениями) в том же отношении, что и в атмосфере Солнца. Это согласие значительно хуже, если сравнивать хондры с земными породами. Сравнение вещества, окружающего хондры, с земными горными породами показывает, что те и другие содержат примерно одинаковое количество связанного кислорода и кремния при избыточном количестве в метеорите магния, железа и никеля, а в земной коре – алюминия, натрия, калия и кальция. На основании этого можно предположить, что каменные метеориты близки по составу к недрам Земли. Там, в частности, под влиянием высокой температуры и давления железо могло дифференцироваться, скопившись в центре Земли и образовав ее ядро.

В некоторых из изученных фрагментов на долю хондр приходится до 90% объема метеорита, чего ранее в метеоритах не наблюдалось. Происхождение хондр не выяснено до сих пор. В земных минералах они никогда не встречаются. Возможно, что хондры – это застывшие капельки, образовавшиеся при кристаллизации вещества. В земных породах такие зерна должны быть раздавлены мощным давлением лежащих выше слоев, тогда как метеориты образовались в недрах родительских тел размерами в десятки километров (средний размер астероидов), где давление даже в центре сравнительно невелико [2, 5, 7].

Вполне вероятно, что хондры являются остатками капель, возникших в процессе конденсации солнечного газа. Они образовались из вещества первоначальной газопылевой прародительницы Солнечной системы путем аккреции при температуре около 1100 К. При этом образовалась каменная основа метеорита, а потом в нее внедрялись летучие вещества при Т <700 К. После этого на протяжении существования в течение 4,5-4,7 млрд. лет сохранялся их первоначальный состав и морфология вплоть до наших дней [3]. На большую реальность этих процессов укажет дальнейшее, более углублен-ное, изучение морфологии и структуры самого вещества хондр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеороиды / В.А. Бронштэн – М.: Наука, 1987. – 176 с.

2. Вдовыкин Г.П. Метеориты (Метеориты Кавказа и метеоритные дожди) / Г.П. Вдовыкин // Академия наук СССР (АН СССР), Институт геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ). – М.: Наука, 1974. – 183 с.

3. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики: Учеб. для вузов / Д.Я. Мартынов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.

4. Островский А.М. Изучение структуры и места падения Узовского метеорита / А.М. Островский // Виртуальные и реальные литологические модели: материалы Всероссийской школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии, Екатеринбург, 23-24 октября 2014 г. / Институт геологии и геохимии УрО РАН; отв. ред. А.В. Маслов. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. – С. 92-94.

5. Островский А.М. Изучение характера падения и физических свойств Узовского метеорита / А.М. Островский, М.Н. Стародубцева // Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы медицины» 16-й итоговой научной сессии Гомельского государственного медицинского университета. – Т. 3. – Вып. 7. – Гомель, 2007.– С. 87-90.

6. Островский А.М. Особенности конденсированного состояния металлической фракции межхондрового вещества Узовского метеорита / А.М. Островский // XIV Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металловедов-молодых ученых: сборник научных трудов, Екатеринбург, 11-15 ноября 2013 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – С. 232-234.

7. Островский А.М. Особенности структуры и химического состава Узовского метеорита / А.М. Островский // Междисциплинарные исследования в науке и образовании: Науки о Земле. Сборник трудов Первой Международной научно-методической конференции (1 сентября 2012 г.): [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://mino.esrae.ru/158-882. – Дата доступа: 19.09.2013.

8. Островский А.М. Параметры траектории полета и характер разрушений в месте падения Узовского метеорита / А.М. Островский // XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов, Екатеринбург, 24-29 марта 2014 г. / ИГф УрО РАН; редкол.: П.С. Мартышко (отв. ред.) [и др.]. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2014. – С. 175-177.

9. Фесенков В.Г. Избранные труды; Метеориты и метеорное вещество / В.Г. Фесенков. – М.: Наука, 1978. – 252 с.

USOVSKY METEORITE: STRUCTURE, COMPOSITION, ORIGIN

Ostrovsky Artem Mikhailovich

GGMU, Gomel, Belarus; Arti301989@mail.ru

Summary. The study of meteorites, as samples of cosmic matter, is of great scientific value. This article provides an analysis of the structure and morphology of chondrules Usovsky meteorite found on 15 August 2006 in the vicinity Uvarovichi Buda-Koshelevo district of Gomel region (Belarus). Based on the results of the study suggested that Hendry meteorite are remnants of the drops that occurred in the process of condensation of the solar gas.

Key words: Usovsky meteorite, structure, composition, origin

УДК 550.34 ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСЧЕТА ГОЛОВНЫХ ВОЛН К ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ 3-ДВ

Полянский Павел Олегович АСФ ГС СО РАН, г. Новосибирск PPavel6.10@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрен Северо-Западный участок опорногеофизического профиля 3-ДВ. Полученные данные обработаны с помощью метода динамического пересчета головных волн. Построены временные разрезы по продольным и поперечным головным волнам на различных базах обобщенной плоскости. В полученном временном разрезе выделяется зона сложного рельефа, возможно приуроченная к сочленению Предверхоянского Краевого Прогиба и Сетте-Дабанской складчатонадвиговой зоны.

Ключевые слова: Геофизический профиль 3-ДВ, головные волны, фильтр Винера, сейсморазведка ОГТ.

Введение. Восточные регионы России остаются наименее изученными в отношении глубинных сейсмических исследований, и постановка здесь опорного геофизического профиля 3-ДВ «Сковородино-залив Шелихова» для изучения земной коры и верхов мантии представляется крайне актуальной.

В работе рассматривается отрезок опорного профиля 3-ДВ. Работы по методу сверх-глубинного ОГТ выполнялись ГГП «СПЕЦГЕОФИЗИКА». Целью исследования, описываемого в данной работе, является применение метода динамического пересчета преломленных волн для построения временных разрезов головных волн [2].

Геологическая характеристика исследуемого района. Северо-западный участок опорного профиля 3-ДВ пересекает юго-восток Сибирской платформы (Северо-Азиатского кратона), в состав которой входит Алданская антеклиза, Предверхоянский нижнемеловой рифтогенный прогиб и Сетте-Дабанская складчато-надвиговая зона, и южную часть Верхояно-Колымской складчатой области в составе двух крупных тектонических блоков – Западно-Верхоянского и Восточно-Верхоянского (рис. 1). Рассматриваемый отрезок профиля расположен в пределах Сетте-Дабанской складчатонадвиговой зоны.

Сетте-Дабанская зона разбита на узкие меридионально вытянутые на сотню километров узкие пластины, взброшенные и надвинутые друг на друга и пронизанные многочисленными дайками диабазов, диабазовых порфиритов среднепалеозойского возраста. К югу отмечаются единичные массивы ультраосновных-щелочных пород с карбонатитами того же возраста. В разрезах среднего-позднего девона и раннего карбона присутствуют метабазальты и базальтовые порфириты, туфы основных пород.

Система наблюдения и волновая картина. Для возбуждения волновых полей на профиле использовались вибрационные источники, общее число отработанных ПВ равно 1000. Наблюдения проводились непрерывным профилированием по системе встречных и нагоняющих годографов. Расстояние между сейсмоприемниками составляло 50 м, между источниками – 100 м. Максимальное удаление источник – приемник составило 10 км.

По итогам анализа волнового поля можно выделить следующие интересующие нас регулярные волновые формы (рис. 2):

- Первая головная волна (продольная). Прослеживается в первых вступлениях в интервале 100-2200 м. Кажущаяся скорость равна 3.8-4.3 км/с. Длительность импульса составляет 45-60 мс.
- Вторая головная волна (продольная). Прослеживается в первых вступлениях интервале 2500-10000 м. Кажущаяся скорость достаточно сильно изменяется по латерали на исследуемом участке, ее значения лежат в интервале 5-7 км/с. Длительность импульса составляет 60-75 мс.

Во вторых вступлениях прослеживаются поперечные головные волны, их кажущиеся скорости лежат в интервале 2.8-3 км/с. Важно отметить, что на всем рассматриваемом участке профиля волновые формы поперечных волн характеризуются большими амплитудами, чем у продольных волн.



Рис. 1. Тектоническая схема района работ по данным Государственных Геологических карт на листы Р-52, 53 (Якутск) и Р-54, 55 (Оймякон), ВСЕГЕИ, 1999. Кружком показан обрабатываемый участок.

Динамический пересчет преломленных волн с использованием фильтров Винера. Одним из немногих методов автоматизированной обработки данных сейсморазведки многократными перекрытиями является подход, основы которого заложены Крыловым С.В. и Сергеевым В.Н. в [3], и усовершенствованный Емановым А.Ф. и Селезневым В.С. в [2]. С помощью динамического пересчета из первичного волнового поля производится выделение преломленных волн, характеризующихся параллельными нагоняющими годографами, и подавление как регулярных волн, нагоняющие годографы которых не параллельны, так и случайных помех. Выделенные поля преломленных волн могут быть представлены в виде временных разрезов. Временным разрезом на заданной базе обобщенной плоскости наблюдений называется набор трасс, на котором присутствуют только головные волны.



Рис.2. Фрагмент системы наблюдения на профиле, по оси абсцисс – расстояние по профиля в м, по оси ординат – величина базы (удаление источник – приемник), м.



Рис. 3. Временной разрез исследуемого участка профиля по второй головной волне на базе 9000 м

Рассмотрим временной разрез головных волн (рис. 3), полученный динамическим пересчетом волнового поля исследуемого участка профиля на базу 9000 м. Для пересчета выбрана часть обобщенной плоскости, содержащая волновое поле как второй продольной головной волны, так и поперечной головной волны. На данном разрезе ярко выражены два волновых цуга, которые являются отображением одной и той преломляющей границы, верхний цуг – результат восстановления поля продольной головной волны (показан стрелкой Р), а нижний – поперечной головной волны (показан стрелкой S). На рис. 4 показано латеральное распределение отношений времен пробега поперечной и продольной преломленных волн. Преломляющая граница на протяжении исследуемого участка имеет изменяющийся характер рельефа. В левой ее части наблюдаются складчатые формы (обведены кружком). Данный отрезок также сопровождается повышенным соотношением времен пробега поперечных и продольных волн (1.85-2), а также повышенными значениями граничной скорости (6-7 км/с) продольной головной волны (рис. 5, левая часть). Возможно, сложный рельеф этого участка преломляющей границы обусловлен зоной сочленения Предверхоянского Краевого Прогиба и Сетте-Дабанской складчато-надвиговой зоны, характеризующейся сложным геологическим строением. Центральная и правая части (40000-110000 м) преломляющей границы характеризуются относительно однородным рельефом и стабильным характером латеральных распределений отношения времен пробега, а также значениями граничной скорости в диапазоне (5-5.5 км/с). В интервале профиля 75-80 км присутствует локальное усложнение рельефа преломляющей границы, отраженное и на изменении параметров на рис. 4.



Рис. 4. Отношение времен вступлений преломленных S- и P- волн на исследуемом участке. По оси абсцисс – расстояние по профилю, м, а по оси ординат – время пробега головной волны или отношение времен пробега



Рис. 5. Оценка латерального распределения граничной скорости преломленной продольной волны. По оси абсцисс – расстояние по профилю, м, а по оси ординат – скорость, км/с

Заключение. Применение динамического пересчета позволяет, используя свойство когерентности, подавить в первичном волновом поле случайные помехи, а также волны, не характеризующиеся параллельностью нагоняющих годографов, и преобразовать головные волны к виду, удобному для построения сейсмического разреза.

Анализируя выделенные поля головных волн, возможно построение латерального распределения соотношения скоростей продольной и поперечной головных волн. Отношение скоростей на участке 0-30 км повышено по сравнению с остальной частью профиля и колеблется в интервале (1.85-2). Характер изменения распределения отношения скоростей на участках 30-75 км и 80-110 км плавный, величина отношения колеблется в диапазоне 1.6-1.8. В районе 75-80 км присутствует локальная аномалия, характеризующаяся резким повышением соотношения скоростей с 1.8 до 2.

Два временных разреза на разных базах, построенные по области прослеживания одной и той же головной волны, позволяют оценить латеральное распределение граничной скорости данной головной волны. Распределение граничной скорости продольной головной волны на участке 0-40 км характеризуется повышенными значениями (6-7 км/с). В районе 75-80 км также выделяется локальная аномалия, характеризующаяся резким повышением граничной скорости с 5-5.5 км/с до 6.5 км/с.

Данные аномалии, а также усложнение рельефа преломляющих границ, могут быть объяснены усложнением геологического строения среды на указанных отрезках профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еманов А.Ф. Восстановление когерентных составляющих волновых полей в сейсмике. Диссертация на соискание ученой ст. д.т.н. – Новосибирск, 2004. – 279 с.

2. Еманов А.Ф, Селезнев В.С, Коршик Н.А. Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. – 2008. – т. 49, № 10. – С. 1031-1045.

3. Крылов С.В, Сергеев В.Н. Свойства головных волн и новые возможности автоматизации их обработки // Геология и геофизика. – 1985, №4. – С. 92-102.

APPLICATION OF DYNAMIC CONVERSION OF HEAD WAVES TO DATA OBTAINED ON SEISMIC TRAVERSE 3-DV

Polyansky Pavel Olegovich ASB GS SBRAS,Novosibirsk PPavel6.10@gmail.com

Summary. North-West section of geophysical line 3-DV is dealt with the paper. CDP-data are processed with the method of dynamic conversion of head waves. Head-waves-traces on P- and S- waves on different offsets are obtained. Zone of fluctuated relief, which can be associated with connection of Pre-Verkhoyan fore deep and Sette-Daban bow area, is marked in obtained time section.

Key words: Geophysical profile 3-DV, head waves, Wiener's filter, CDP seismic
УДК 550.3 ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Пономарева Екатерина Алексеевна ПГНИУ, г. Пермь ponekaterina@rambler.ru

Аннотация. Приведены результаты электрометрического моделирования верхнеюрских отложений.

Ключевые слова: электрометрическая модель, каротаж, фация, генезис, седиментационная модель

Верхнеюрские отложения представляют наибольший интерес в отношении нефтеносности в восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. В разрезе присутствуют отложения васюганской (наунакской), марьяновской (георгиевской+баженовской) свит келловей-оксфордского времени, формирование которых происходило в континентальных, прибрежно-, мелководно- и глубоководноморских условиях.

В работе рассмотрены принципы электрометрического моделирования на примере верхнеюрских отложений.

В 1928 году братьями Конрадом и Марселем Шлюмберже было замечено явление самопроизвольного возникновения электрического тока в скважине, которое получило название поляризации самопроизвольной (ПС). В 1954 году американский исследователь Р.Г. Нанц впервые применил кривые каротажа отложений палеодельты Силигсон для выявления условий осадконакопления [8]. В 1959 году Д.А. Буш детально закартировал дельтовый проток Буч, с помощью электрокаротажа, пенсильванского возраста в штате Оклахома [3]. В 1963 году Ф.Ф. Сабине, изучая неантиклинальные залежи нефти и газа Бистфилд в Нью-Мексико, выявил отличие песков континентального генезиса от песков морского генеза [9]. В 1965 году Г.С. Вишер разработал критерии по различению главных типов осадков на основе литологических, палеонтологических, структурных и морфологических особенностей. Результаты многолетних исследований ценны для понимания условий формирования песчаных тел различного происхождения [10, 12]. В 1972 году Ю.В. Шелтон предложил проводить корреляцию каротажных кривых [11]. Свой вклад в развитие изучения электрометрических моделей песчаных тел внесли: И.К. Хармс, И.Л. Кеннон, П.Е. Поттер, С. Сайт, Р.С. Фарес, С.Н. Пирсон, А. Дугаллер, Д. Матуцак [3, 4, 6]. В 1979 году впервые издана на русском языке работа Ч.Э. Конибира «Материалы по палеогеоморфологии нефтегазоносных песчаных тел и их электрометрических характеристик». В 1974 году М.Ю. Эрвье по данным каротажа изучал распространение продуктивных песчаных горизонтов в пределах Нижневартовского свода Западно-Сибирской низменности. В 1979 году В.С. Муромцев и Р.К. Петрова издают методические рекомендации по выявлению литологических ловушек нефти и газа [2]. Наибольшей известностью в России пользуется труд В.С. Муромцева 1984 года: «Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа», на которую опираются, реконструируя условия осадконакопления, выделяя электрометрические модели.

Под электрометрической моделью фации В.С. Муромцев понимает: «...отрезок кривой ПС, образованный одной или несколькими аномалиями. Увязанными с граничными значениями αПС и отражающими изменения литофизических свойств пород, обусловленные характерной последовательностью смены палеогидродинамических

уровней среды седиментации во времени» [3] (рис. 1). αПС – это отношение значений кривой ПС изучаемого пласта к ее максимуму. За линию минимального отклонения ПС принимают нулевую линию или «линию глин». Максимальное отклонение кривой ПС – это «линия песков». Расстояние от этих двух линий принимают равным единице. Как отмечает Муромцев: «... значения αПС соответствуют определенным палеогидродинамическим уровням среды седиментации». Интервалы значений аПС по В.С. Муромцеву приведены в таблице 1.

Расчленив разрез васюганской и ее аналога наунакской свиты, с использованием данных ГИС в совокупности с литологическим составом по каждой скважине в отдельности, рассмотрена электрометрическая характеристика. Отмечалась форма записи кривой метода потенциал собственной поляризации (ПС), изменения значений аПС с глубиной по разрезу. Установлено, что по кривой ПС однозначно прослеживаются пласты $\rm IO_1^1, \rm IO_1^2, \rm IO_1^3, \rm IO_1^4$ (рис. 2).



Рис. 1. Морфология аномалий кривых ПС по В.С. Муромцеву [3]. Условные обозначения: Часть кривой 1 – верхняя, 2 – средняя, 3 – нижняя.





Отложения васюганской (наунакской) свит по методике В.С. Муромцева относятся к типовым электрометрическим моделям аллювиального и прибрежно-морского комплекса фаций (см. рис. 2), таких как: русел рек ограниченно меандрирующего типа; русел рек интенсивно-меандрирующего типа, переходящих в старичные озера; внешней части речной поймы (пески разливов, береговых валов); глинистые отложения мелководной части морского шельфа; нижняя подводная равнина; песчаные и глинистые отложения мелководной части морского шельфа; русловые отмели реки, формирующие дельту.

Таблица 1

Интервалы		Формирование осадка	Гидроди-	
значений αПС	Питопогия	(палеогидродинамический	намиче-	
	литология	уровень среды седимента-	ский уро-	
		ции)	вень	
0÷0,2	Глины и алевро-глинистые по-			
	роды (чистые и алевритистые	очень низкий	5	
	глины)			
0,2÷0,4	Алевролиты и глинисто-	шакий	Λ	
	алевролитовые породы	низкии	4	
0,4÷0,6	Смешанные (песчано-алевро-	2723	3	
	глинистые) породы	среднии		
0,6÷0,8	Пески мелкозернистые, в раз-		2	
	личной мере глинистые	высокии	Z	
0,8÷1,0	Пески крупно-среднезернистые	очень высокий	1	

Интервалы значений αПС [3]

Форма записи кривой ПС, характеризующая пласты IO_1^1 , IO_1^2 , IO_1^3 и IO_1^4 , разная. Отмечается, что пласты, представленные песчаником, имеют отрицательную аномалию формы кривой ПС, глинистым материалом – положительную аномалию формы кривой ПС, переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов – изрезанную форму кривой ПС. Для дифференциации и определения литологического состава пластов васюганской (наунакской) свит по данным промысловой геофизики была выполнена типизация кривой ПС. Выполненный анализ характеристики пластов (Ю1¹, Ю1², Ю1³, 10^{4}) с учетом формы записи ПС позволил установить четыре основных типа пласта, из них два детальных. Тип 1 – отрицательная форма кривой ПС, которая характеризует однородный песчаник разной толщины. Тип 2 – отрицательные и положительные аномалии кривой ПС в различных частях разреза: тип 2а – отрицательная аномалия кривой ПС в верхней части разреза и положительная – в нижней части, отмечается развитие песчаника в кровле и глинизацию – в подошве пласта; тип 26 – отрицательная аномалия кривой ПС в части нижней разреза и положительная – в верхней части, отмечается развитие песчаника в подошве и глинизацию – в кровле пласта; тип 2в – отрицательная аномалия кривой ПС, осложненная положительной аномалией, отмечается расчленение песчаного пласта глинистыми породами. Тип 3 – аномалия кривой ПС расчлененная, характерна для переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов. Тип 4 – положительная аномалия для всего разреза, характеризующая глинизацию пластов.

Мощные песчаные пласты приурочены по методу В.С. Муромцева (1984) к фации меандрирующих рек. На территории изучения существовала речная сеть, что подтверждается керновым материалом. Речная система имела меандрирующий характер. Реки были извилистыми и имели медленное течение. Наличие углистых прослоев доказывает заболоченность территории. Речная сеть несла огромное количество обломочного материала, который, проходя прибрежную часть равнины, выносился в прибрежную часть моря, а затем и в море.

Схематично седиментационные модели удачно продемонстрированы в работе G. Einsele (2010) [1, 7]. Типичные условия для изучаемого района представлены на рис. 3, 4.

Строение типичного разреза седиментационной модели флювиальной дельты приводится по данным G. Einsele (2010). Красным овалом определено место исследуемого участка в масштабах седиментационной модели, для понимания, сложности условий седиментации на верхнеюрское время (рис. 4).

Осадконакопление происходило в регрессивно-трансгрессивных условиях прибрежно-континентального бассейна с частым колебанием береговой линии.

После обработки результатов по интерпретации корреляции разреза с учетом данных кривой ПС, появилась возможность спрогнозировать зоны распределения песчаной части по площади исследования. Полученный результат важен, так как, исследуя данные на площади всего по 17 скважинам, прогнозируются мощные песчаные пласты между скважинами (рис. 5) [5].





Рис. 3. Седиментационная модель меандрирующей речной системы по G. Einsele (2010) [1, 7]



В целом палеогеографические условия осадконакопления представлены отложениями: аккумулятивно-денудационной равнины, делювиально-пролювиальных условиях, озерно-аллювиальной равнины, низменной аккумулятивной равнины с неустойчивым режимом осадконакопления; мелководной зоны шельфа, относительно глубоководной зоны шельфа. В исследуемом районе изучения осадконакопление происходило в обстановках, таких как озерно-аллювиальная равнина, низменная аккумулятивная равнина с неустойчивым режимом осадконакопления; мелководная зона шельфа. Относительно глубоководная зона шельфа находится в юго-восточной части относительно исследуемой территории, предполагаемые границы этих областей вынесены на рисунке 5 [5].

Комплексный подход к оценке перспектив нефтегазоносности на основе интеграции геофизической информации позволяет спрогнозировать новые залежи углеводородов.



Рис. 5. Палеогеографическая схема васюганского нефтегазоносного комплекса, Е.А. Пономарева (2013) [5] Условные обозначения: — аккумулятивно-денудационная равнина; — делювиально-пролювиальная область; — озерно-аллювиальная область; — низменная аккумулятивная равнина с неустойчивым режимом осадконакопления; — –

мелководная зона шельфа, — относительно глубоководная зона шельфа; — озеро; — изучаемый район.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышева Н.А. Геология для нефтяников. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 360 с.

2. Муромцев В.С., Петрова Р.К. Методические рекомендации по выявлению литологических ловушек нефти и газа / В.С. Муромцев, Р.К. Петрова. – Л.: ВНИГРИ. 1979. – 73 с.

3. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.

4. Кинг Р.Е. Стратиграфические и литологические залежи нефти и газа. – М.: Недра, 1975. – 469 с.

5. Пономарева Е.А. Палеогеографические аспекты формирования васюганского нефтегазоносного комплекса / Е.А. Пономарева, И.П. Попов // Естественные и технические науки. – 2013. – № 3 (65). – С. 137-140.

6. Трофимук А.А. Важные уроки истории открытия Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика. – 1974. – № 5. – С. 29-36.

7. Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies, and sediment budget. – Springer, 2000. – 792 p.

8. Nanz R.N. Genesis of Oligocene sandstone reservoir, Seeligson Field, Jim Wells and Kleberg Counties. – Texas/ Geologists, 1954. – Vol. 38. – P. 96-117.

9. Sabins F.F. Anatomy of stratigraphic trap. – New Mexico/ Geologists, 1963. – Vol. 47, № 2. – P.193-228.

10. Saitta S. Subsurface study of the Southern portion of the Bluejacket delta / S. Saitta, G.S. Visher // Oklahoma City Geol. Soc. Guidebook. – 1968. – P.53-68.

11. Shelton J.W. Correlation sections and log maps in determination of sandstone trends / Geologists. – 1972. – Vol.56, № 8. – P. 1541-1544.

12. Viser G.S. Use of vertical profile in environmental reconstruction / Geologists. – 1965. – Vol.49, N1. – P. 41-61.

ELECTROMETRIC MODEL OF UPPER JURASSIC SEDIMENTS

Ponomareva Ekaterina,

Perm State University, Perm ponekaterina@rambler.ru

Summary: results of electrometric modeling of upper Jurassic sediments. **Key words:** electrometric model, logging, facies, genesis, sediment model

УДК 550.831+838

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА S-АППРОКСИМАЦИЙ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Раевский Дмитрий Николаевич

ИФЗ РАН, г. Москва nofirma2010@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе рассмотрена проблема решения обратных задач геофизики при помощи модифицированного метода S-аппроксимаций. Предложен новый итерационный метод, основанный на регуляризации трехслойного метода Чебышева.

Ключевые слова: геофизическое поле, обратная задача, аппроксимация, регуляризация

Одним из наиболее эффективных методов разведочной геофизики является сейсморазведка. Однако, в последнее время все чаще требуется плотное комплексирование геофизических методов по следующим причинам:

1) Возрастание объема данных, подлежащих интерпретации;

2) Увеличение глубинности геологических исследований, так как запасы легко добываемых месторождений, находящиеся в верхней коре, почти исчерпаны;

3) Более сложные геологические условия, в которых проводятся работы, а также более сложное строение исследуемых тел (тела могут быть сложной формы, не являющейся выпуклой областью).

4) Повышение требований к точности и разрешающей способности геологических исследований;

5) Появление новых инженерно-эксплуатационных, экономических и экологических проблем.

Перечисленные выше причины усиливают некорректность решаемых обратных задач, поэтому при решении современных геофизических задач, получаемые результа-

ты интерпретации неоднозначны, и только плотное комплексирование методов полевой физики позволяет достоверно их решить.

Две версии метода S-аппроксимации (локальный и региональный варианты), основанного на аппроксимации измеренных компонент поля суммой простого и двойного слоев, являются эффективными и хорошо зарекомендованными себя методами обработки данных геофизических полей [1-3]. Автором совместно с И.Э. Степановой был разработан модифицированный метод S-аппроксимаций, основное отличие которого состоит в надстройке метода в зависимости от наличия той или иной априорной информации, доступной для исследуемых геологических объектов по другим уже полученным результатам [4].

Основной вычислительной проблемой является нахождение устойчивого приближенного решения и системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которая непременно возникает при решении линейных обратных задач различных областей геофизики (гравиметрии, магнитометрии, геоинформатики и т.д.).

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = f_{\delta} = f + \delta f,\tag{1}$$

где f_{δ} есть N-вектор заданных величин, измеренных на некоторой поверхности Земли,

 $A - N \times N$ -матрица со свойством $A = A^T > 0$, а δf представляет собой N-вектор помехи. Особенно эффективными для решения систем такого рода представлялись метод Лаврентьева, регуляризованный метод Холецкого и другие регуляризованные методы решения СЛАУ [5].

Однако, подобные методы оказываются неэффективными при решении систем большой ($N>10^5$) размерности: время, затрачиваемое на решение СЛАУ, очень велико (при N=10201 время решения СЛАУ заняло 115 минут). К тому же, если исследуемая область характеризуется большим количеством локальных аномалий или аномалиеобразующий объект не представляет собой звездную область, то полученные решения не всегда являются верными (геометрическая форма найденного тела сильно искажена и найдена неверно), следовательно, интерпретатор не получит необходимые ему достоверные результаты. Решение же такой системы блочными методами, в которых исследуемая область разбивается на подобласти одинакового размера, привносят еще большие ошибки, так как количество вычислительных операций увеличивается, и могут усугубить положение.

В связи с этим возникает необходимость использования такого метода решения СЛАУ, который был бы максимально эффективным при решении обратных задач геофизики непосредственно при помощи модифицированного метода S-аппроксимаций. Матрица A системы (1) является плохо обусловленной, и при увеличении размерности системы число обусловленности только растет, что связано с уменьшением диагонального преобладания элементов матрицы.

Автором совместно с И.Э. Степановой был разработан регуляризованный итерационный метод, основанный на трехслойном итерационном методе Чебышева. Опишем основной алгоритм этого метода.

1) Нам заданы постоянные δ_{\min}^2 , δ_{\max}^2 , фигурирующие в неравенствах

$$\delta_{\min}^2 \le \left\|\delta f\right\|_E^2 \le \delta_{\max}^2,\tag{2}$$

где $\left\| \partial f \right\|_{E}^{2} = \sum_{i=1}^{N} \left(\partial f_{i} \right)^{2}.$

2) Известно, что вектор полезного сигнала f ортогонален вектору помехи δf :

$$\|f\|_{E}^{2} + \|\delta f\|_{E}^{2} = \|f_{\delta}\|_{E}^{2}.$$
(3)

3) Нам известен некоторый функционал $\Omega(x)$, задающий отношение предпочтений на множестве приближенных решений \hat{x} СЛАУ (1).

Определение: Пусть имеется два произвольных приближенных решения \hat{x}_1 и \hat{x}_2 СЛАУ (1), удовлетворяющих условию $\|\mathbf{A}\hat{x}_1 - f_{\delta}\|_E^2 = \|\mathbf{A}\hat{x}_2 - f_{\delta}\|_E^2$. Тогда функционал $\Omega(x)$ задает отношение предпочтения на множестве приближенных решений СЛАУ (1), если из неравенства $\Omega(\hat{x}_2) < \Omega(\hat{x}_1)$ следует, что приближенное решение \hat{x}_2 предпочтительнее приближенного решения \hat{x}_1 . Вместо исходной системы (1) рассмотрим ее регуляризованный аналог ($\mathbf{A} + \alpha \mathbf{S}$) $\mathbf{x} = f_{\delta}$, (4)

где $\alpha > 0$ – параметр регуляризации, где $\mathbf{S} = \mathbf{S}^T > 0$ – невырожденная $N \times N$ -матрица. В этом случае функционал $\Omega(x) = (\mathbf{S}x, x)$ задает отношение предпочтения на множестве приближенных решений.

Система (4) решается трехслойным итерационным методом Чебышева. Ниже описан основной алгоритм этого метода:

$$x^{i+1} = \beta_{i+1} \left(E - \tau (\mathbf{A} + \alpha \mathbf{S}) \right) x^i + \left(1 - \beta_{i+1} \right) x^{i-1} + \beta_{i+1} \ \mathcal{T}_{\delta},$$

$$x^1 = \left(E - \tau (\mathbf{A} + \alpha \mathbf{S}) \right) x^0 + \mathcal{T}_{\delta}, \quad i = 1, ...,$$
(5)

$$\tau = \frac{2}{l+L}, \, \beta_1 = 2, \, \beta_{i+1} = \frac{4}{4-\rho^2 \beta_i}, \, \rho = \frac{L_\alpha - l_\alpha}{L_\alpha + l_\alpha}, \tag{6}$$

где L_{α} – максимальное собственное значение матрицы **A** + α **S**, а l_{α} – параметр, который находится таким образом, чтобы система (4) решалась за минимальное время. Параметры β , τ находятся из известных реккурентных соотношений [6, 7].

Основное внимание уделяется выбору набору параметров регуляризации, для каждого из которых решается система (4)-(6). Вначале за небольшое число шагов находится значение $\alpha = \alpha_{\max}$ и $\dot{\hat{x}} = \hat{x}_{\alpha_{\max}}$, при котором выполняется неравенство

$$\left\|\mathbf{A}\widehat{x}_{\alpha_{\max}} - f_{\delta}\right\|_{E}^{2} \ge \delta_{\max}^{2}.$$
(7)

Если задавать убывающую последовательность параметров $\alpha : \alpha_1 = \alpha_{\max} > \alpha_2 > ... > \alpha_{\min}$, то в качестве нулевого приближения решения системы (4) для следующего параметра α_{k+1} можно выбрать значение \dot{x}_{α_k} – устойчивое приближенное решение при предыдущем параметре α_k . За α_{\min} принято значение, при котором выполняется неравенство

$$\left\|\mathbf{A}\widehat{x}_{\alpha_{\min}} - f_{\delta}\right\|_{E}^{2} \le \delta_{\min}^{2},\tag{8}$$

где $\hat{x}_{\alpha_{\min}}$ – устойчивое приближенное решение при $\alpha = \alpha_{\min}$. В этом случае параметр регуляризации α следует увеличить. После останова итерационного процесса (критерий останова итерационного процесса можно выбрать любым хорошо известным способом) происходит переход к новому параметру α_{k+1} , и СЛАУ (4) решается с новым параметром $\alpha_{k+1} < \alpha_k$ (или $\alpha_{k+1} > \alpha_k$, если $\alpha_k = \alpha_{\min}$ - значение, при котором выполняется неравенство (8). Варьируя таким образом параметр α , мы находим множество пробных решений $\dot{x}_1, \dot{x}_2, ..., \dot{x}_R$, удовлетворяющих неравенству

$$\delta_{\min}^2 \le \left\|\mathbf{A}\dot{\hat{x}}_i - f_\delta\right\|_E^2 \le \delta_{\max}^2, \ i = 1, 2, \dots, R.$$
(9)

Из полученного множества пробных решений целесообразно отобрать те, которые наилучшим образом соответствовали бы имеющейся априорной информации, описанной выше (пункты. Для этой цели введем функционал качества решения $\Phi(\alpha)$, который удовлетворял бы этим критериям. В нашем случае его можно выбрать в виде

$$\Phi(\alpha) = \left(\left\| \mathbf{A} \hat{x}_{\alpha_{r}} - f_{\delta} \right\|_{E}^{2} - \delta_{\min}^{2} \right)^{2} + \left(\left\| \mathbf{A} \hat{x}_{\alpha_{r}} - f_{\delta} \right\|_{E}^{2} - \delta_{\max}^{2} \right)^{2} + \Omega^{2} (\hat{x}_{\alpha_{r}}) + \left(\left\| \mathbf{A} \hat{x}_{\alpha_{r}} - f_{\delta} \right\|_{E}^{2} - \left\| \mathbf{A} \hat{x}_{\alpha_{r}} \right\|_{E}^{2} + \left\| f_{\delta} \right\|_{E}^{2} \right).$$
(10)

Далее, из множества пробных решений выбираются $\dot{\hat{x}}_1, \dot{\hat{x}}_2, ..., \dot{\hat{x}}_{R_{\text{max}}}, R_{\text{max}} < R$, которые минимизируют функционал качества $\Phi(\alpha)$:

$$\Phi(\alpha) = \min_{\alpha} . \tag{11}$$

Затем искомое решение системы (4) находится при помощи усреднения множества допустимых решений:

$$\widetilde{x} = \sum_{r=1}^{R_{\text{max}}} p_r \dot{\hat{x}}_r, \quad p_r > 0, \qquad \sum_{r=1}^{R_{\text{max}}} p_r = 1.$$
(12)

Описанный в настоящей работе регуляризованный итерационный трехслойный метод Чебышева был апробирован на множестве модельных примеров. При качественной оценке полученных решений, были выявлены следующие два преимущества разработанного метода по сравнению с методом Лаврентьева и регуляризованным методом Холецкого:

• Время решения системы (1) гораздо меньше. Например, при решении системы размерности *N*=10201, время решения СЛАУ заняло 55 мин. при использовании регуляризованного итерационного трехслойного метода Чебышева, а метод Лаврентьева и регуляризованный метод Холецкого – 115 мин.

• Полученные решения достовернее описывают геологические и физические особенности исследуемой области по сравнению с другими методами. Например, если аномалиеобразующий объект является глубоко залегающим кольцом, когда аномальное поле уже близко к сферическому полю, то решение, полученное при помощи описанного в данной работе метода, хоть и нечетко, но выявляет кольцевую структуру тела, в то время как два других метода этой структуры не выделяют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов В.Н. О построении аналитических аппроксимаций аномальных гравитационных и магнитных полей // Основные проблемы теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – С. 65-125.

2. Страхов В.Н., Страхов А.В., Степанова И.Э. Актуальные проблемы геофизики и геоинформатики. – М.: ОИФЗ РАН, 2004.

3. Страхов В.Н., Степанова И.Э. Метод S-аппроксимаций и его использование при решении задач гравиметрии (локальный вариант) // Физика Земли. – 2002. – № 2. – С. 3-19.

4. Степанова И.Э., Раевский Д.Н. О решении обратных задач гравиметрии с помощью модифицированного метода S- аппроксимаций // Физика Земли. – Принято к печати. 2014.

5. Ягола А.Г., Янфей Ван, Степанова И.Э., Титаренко В.Н. Обратные задачи и методы их решения / Приложения к геофизике. – М.: БИНОМ, 2014.

6. Самарский А.А., Николаев Е.С., Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978.

7. Пашковский С., Вычислительные применения многочленов и рядов Чебышева. – М.: Наука, 1983.

ON THE MODIFIED S-APPROXIMATION METHOD EFFICIENCY AT GEOPHYSICAL FIELD DATA INTERPRETATION.

Raevsky Dmitry Nikolaevich IPE RAS, Moscow nofirma2010@mail.ru

Abstract. The problem of solving inverse problems of geophysics by modified S-approximation method is considered in this paper. The new iterative method based on regularization of three-layer Chebyshev method is offered. **Key words:** geophysical field, inverse problem, approximation, regularization

УДК 550.382: 550.8.053 ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЮЖНОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Розыган Тарас Витальевич, Орлюк Михаил Иванович ИГФ НАН Украины, г. Киев rozzval90@gmail.net, orlyuk@igph.kiev.ua

Аннотация: Выполнен количественный анализ геомагнитного поля Южного нефтегазоносного региона Украины. Составлены схемы региональных и локальных линеаментов исследуемой территории.

Ключевые слова: линеаменты, разлом, магнитное поле, региональная и локальная компоненты аномального магнитного поля, гистограмма

Южный нефтегазоносный регион Украины (ЮНРУ) охватывает Западное и Южное Причерноморье, Южное Приазовье, Крым, украинские зоны Черного и Азовского морей [1]. Запасы нефти и газа в регионе не велики, но поскольку он является мало изученным, то в будущем здесь могут быть выделены новые нефтегазоносные месторождения.

Аномальное магнитное поле. Карта аномального магнитного поля Южного нефтегазоносного региона Украины была разработана на основе карт Украины и Черного моря [3, 4], путем приведения к уровню поля на территории Украины [6].

Аномальное магнитное поле ЮНРУ является сложно дифференцированным по интенсивности, морфологии и простиранию аномалий, которые образуют своеобразные полосы, и характеризуется наличием длинноволновой (рис. 1а) и коротковолновой (рис. 1б) компонент [5]. Субмеридиональный характер аномалий магнитного поля Восточно-Европейской платформы без существенных изменений прослеживается на юг практически до палеозойской Дунайско-Терской сутуры. В пределах между палеозойской и мезозойской сутурами наблюдается сложный характер поля с преобладанием субширотных его простираний в региональной и «неупорядочено-хаотических» – в локальной компоненте магниного поля (рис. 1а, б). Можно отметить очень хорошее проявление глубоководной части Черноморской мегавпадины сопряженными локальными магнитными аномалиями (рис. 1б).

Локальная компонента поля получена путем вычитания регионального поля из исходного $(\Delta T)_{a,no\kappa} = (\Delta T)_a - (\Delta T)_{a,pee}$. Проанализировав локальною компоненту аномального магнитного поля региона, можно сделать вывод о наличии локальных аномалий разного направления, которые могут рассматриваться в качестве индикаторов нефтегазо контролирующих разломов [7].

Результаты. В данной работе для выделения линеаментов использовалась методика формального анализа линеаментов потенциальных полей, которая приведена в работах [2, 8].

Процесс выделения линеаментов является сложным и неоднозначным. Все расчеты выполнялись в программе, разработанной на кафедре геофизики ГВУЗа «Национальный горний университет», а графические построения в программной среде «Surfer» и «Grapher».



В ходе выполнения работы были рассчитаны и построены гистограммы распределения штрихов [2, 8] для региональной и локальной компонент аномального магнитного поля исследуемого региона (рис. 2). Далее осуществлялась азимутальная фильтрация штрихов по преобладающим направлениям с целью выделения линеаментов, которые ассоциируются с разломами разных рангов (в зависимости от поля, в котором они выделяются).

На рисунке 2 приведены рассчитанные гистограммы распределения штрихов в региональном и локальном магнитном поле ЮНРУ. Анализируя гистограммы, можно сделать вывод о том, что азимуты простирания штрихов в региональном поле имеют преимущественно субширотное (90-270°), субмеридиональное (0°), а также диагональное, северо-западное (295°, 315°, 335°, 350°) простирание. Штрихи диагонального, северо-восточного, простирания характеризуется минимальными значениями на общем фоне, и поэтому можно выделить только направление с азимутом 77°. В локальном поле направления, имеющие субмеридиональный и субшыротный азимуты, преобладают над диагональными, которые, в свою очередь, приблизительно равномерно расположены на гистограмме. Среди них можно выделить: 295°, 315°, 335°, 345°, 15°, 25°, 45°, 60°, 77°.



Рис. 2. Гистограмма распределения штрихов в магнитном поле ЮНРУ: 1 – в региональном поле; 2 – в локальном поле.

После выполнения азимутальной фильтрации были выделены непосредственно линеаменты, для этого выполнялась процедура генерализации отфильтрованных штрихов по признакам их одинаковой ориентировки и близости расположения, отдельно для каждой из компонент аномального магнитного поля ЮНРУ. Таким образом, для территории ЮНРУ были составлены схемы локальных и региональных линеаментов.

Выводы. В ходе выполнения исследования был произведен количественный анализ аномального геомагнитного поля Южного нефтегазоносного региона Украины. По преобладающим направлениям составлены схемы линеаментов локального и регионального класса. Выделенные линеаменты будут в дальнейшем использованы для сопоставления с известными разломами, выделения новых систем разломов и узлов их пересечения, а также указания мест несоответствия простирания разломов регионального и локального класса. Полученные результаты будут использованы для прогнозирования нефтегазоносности региона и локализации мест притока глубинных углеродов в верхнюю часть земной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гірничий енциклопедичний словник // За редакцією В.С. Білецького. – Т.3. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2004. – 752 с.

2. Кейс Д., Довбнич М.М., Солдатенко В.П. Изучение систем разломов фундамента северо-востока Сирии с целлю прогноза нефтегазоперспективности // Сб. научных трудов НГАУ. – Том 4. – №3. – Днепропетровск, 2002. – С. 150-155.

3. Кравченко С.Н, Орлюк М.И., Русаков О.М. Новый подход к интерпретации региональной Западно-Черноморской магнитной аномалии // Геофизич. Журн. – Т. 25, №2. – 2003. – С. 135-145.

4. Нечаєва Т.С., Шимків Л.М., Горкавко В.М. Карта аномального магнітного поля (*∆T*)_{*a*} України м-бу 1 : 1 000 000. – Київ, 2002. – 1 лист.

5. Орлюк М.И., Лебедь Т.В., Марченко А.В., Роменец А.А., Бакаржиева М.И. Магнитные модели земной коры вдоль профилей ГСЗ 25, ГСЗ 28 и ГСЗ 29 (в связи с исследованием переходной зоны от Восточно-Европейской платформы к Черноморской мегавпадине // Геодинаміка. – №2(15). – 2013. – С. 259-262.

6. Орлюк М.И., Пашкевич И.К., Лебедь Т.В. 3D магнитная модель земной коры Азово-Черноморского региона // Геофизич. журнал. – №5. – 2009. – С. 102-116.

7. Орлюк М.И., Роменец А.А. Геомагнитные исследования северо-западной части Черного моря в связи с перспективами нефтегазоносности // «Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа». Тезисы докладов IX Международной конференции «Крым-2011». – Симферополь, 2011. – С. 30-32.

8. Розыган Т.В. Магнито-линеаменты Днепровско-Донецкого авлакогена в связи с его нефтегазоносностью // Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования». Сборник научных трудов. – Часть І. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 60-62.

LINEAR ELEMENTS OF SOUTHERN OIL AND GAS REGION OF UKRAINE BY THE GEOMAGNETIC DATA

Rozyhan Taras, Orlyuk Mykhailo ИГФ НАН Украины, г. Киев rozzval90@gmail.net, orlyuk@igph.kiev.ua

Summary: The quantitative analysis of the geomagnetic field of the Southern oil and gas region of Ukraine was done. Schemes of regional and local lineaments of the study area are completed.

Key words: lineaments, fault, magnetic field, regional and local components of the anomalous magnetic field, histogram

УДК 550.837.31:550.8.05:550.8.013 ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ СКАЛЬНОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Рязанцев Павел Александрович ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск chthonian@yandex.ru

Аннотация. В работе исследуются возможности методики электротомографии при оценке трещиноватости скального массива. Определена зависимость между удельным сопротивлением и трещиноватостью. Выделены особенности электротомографии при выполнении полевых наблюдений и обработки данных. Рассмотрены примеры локализации сетей трещин. Ключевые слова: электротомография, трещиноватость, модель, УЭС, скальный массив

На сегодняшний день, методы электроразведки на постоянном токе широко используются для исследования приповерхностной части геологического разреза, в том числе и на скальных породах магматического генезиса. В большинстве случаев скальные породы являются плохими проводниками, однако геологические процессы существенно влияют на изменение их проводимости. Особый вклад вносят тектонические процессы, так как они увеличивают пористость и проницаемость горных пород, что также приводит к уменьшению удельных электрических сопротивлений (УЭС) [4].

В общем виде явление трещиноватости можно рассматривать как нарушение сплошности горного массива, в результате чего возникают эффекты, имеющие отражение в геофизических полях, в том числе и в поле УЭС. Важным фактом является то, что геоэлектрические характеристики приповерхностной части горного массива тесно связаны с процессами водонасыщения, поэтому, как правило, образование трещин приводит к уменьшению УЭС.

Анализ литературных источников позволяет констатировать наличие явной связи между УЭС и трещиноватостью горных пород [4, 6]. Наряду с этим следует отметить, что эта связь обусловлена рядом факторов, и в каждом типе горных пород может проявляться по-разному, так, например, для скальных пород зависимость между трещиноватостью и УЭС имеет вид обратной линейной зависимости [3]. Этот факт позволяет использовать показатели УЭС для локализации зон трещиноватости скального массива при инженерных изысканиях и разведке месторождений полезных ископаемых.

Основы методики электротомографии достаточно хорошо рассмотрены в различных трудах [1, 2]. При её применении существуют две составляющие: полевые наблюдения и программная обработка. Эти этапы взаимосвязаны, и на каждом из них следует учитывать специфику конкретной геологической ситуации. С ее помощью можно получать данные о параметрах сопротивления и вызванной поляризации изучаемой геологической среды как в двумерном (2D), так и в трехмерном (3D) виде. Особую роль при изучении трещиноватости методикой электротомографии играет выбор электроразведочной установки. Как показывает практика, наиболее информативными являются дипольная осевая и трёхэлектродная комбинации приёмных и питающих электродов.

Неотъемлемым атрибутом электротомографии является выполнение инверсии по полученному набору значений кажущихся сопротивлений. Цель инверсии – получение реконструированного распределения УЭС. Для решения обратной задачи пространство разделяется на ячейки с некоторыми значениями искомого параметра УЭС, который может занимать как группы ячеек, так и одиночные ячейки. В общем случае, при помощи инверсии подбирается геоэлектрическая модель, которая дает представление о фактических значениях УЭС геологических объектов с той или иной степенью достоверности. Такую модель можно рассматривать как идеализированное математическое представление некоторого объема геологической среды [7].

При исследовании трещиноватости скального массива следует учитывать следующие факторы, влияющие на УЭС и, как следствие, геоэлектрические модели:

- 1. Высокий контраст УЭС между нарушенными и монолитными областями, характерный для скального массива;
- 2. Относительно малый размер идентифицируемых объектов (трещин) относительно объёма вмещающих пород;

- 3. Влияние на УЭС геометрических параметров трещиноватости, таких как угол наклона и ширина раскрытия;
- 4. Наличие у зон трещиноватости обрамляющих вторичных изменений, обусловленных раскрытием микропор и появлением новых каналов проводимости;
- 5. Формирование зоной трещиноватости образа на геоэлектрической модели, который выражается в специфическом распределении аномалий УЭС.

Исходя из имеющихся геологических предпосылок, а также результатов численного моделирования и полевых наблюдений, для локализации трещиноватости скального массива на геоэлектрических моделях электротомографии необходимо выполнение следующих операций:

- 1. Выбор системы наблюдений, исходя из параметров трещиноватости скального массива;
- 2. Использование контрастной инверсии для более точного определения границ трещин;
- 3. Подбор размеров моделируемых ячеек для лучшего отображения искомых объектов;
- 4. Выполнение интерпретации полученной геоэлектрической модели с акцентом на верхнюю треть эффективной глубины;
- 5. Выделение трещин на основе поиска характерных геоэлектрических образов.

В качестве примера на рисунке приводятся синтетические геоэлектрические модели скального массива, на которых определяется геометрическое распределение трещиноватости, то есть сети трещин. За основу при создании моделей бралась классификация сетей трещин, предложенная С. Н. Чернышевым, для прикладных целей [5]. Моделировались три основные сети: системная, полигональная и хаотичная.





Как видно по получившимся геоэлектрическим моделям, каждая из них имеет собственный характерный образ, отражающий геометрические особенности распределения трещин, что позволяет анализировать трещиноватость горного массива. Наряду с этим для всех моделей сохраняется правило области контрастности, то есть наиболее

достоверно сеть трещин определяется в верхней трети разреза. В нижней части разреза большое влияние на образ трещиноватости оказывают эффекты экранирования от наклонных трещин, исключающие возможность идентификации нижележащих объектов.

Проведённые исследования показывают возможности электротомографии для изучения нарушенности горных пород. Изучение механизмов образования проводимости в трещиноватых зонах горного массива, а также анализ их связи с УЭС, позволили установить, что трещины контрастно проявляются в скальных горных породах в виде изменения уровня УЭС. Выполненное численное моделирование различных видов трещин в поле УЭС показало существование характерных геоэлектрических образов для каждого их них, что позволило установить критерии их идентификации и оценки при проведении полевых наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Опыт применения электротомографии в геофизике // Геофизика. – №6. – 2012.– С. 54-63.

2. Бобачев А.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В. Электротомография – высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе // Инженерная геология. – №3. – 2007. – С. 31-35.

3. Копылов М.И., Пустовойтова И.В. Опережающие геофизические и петрофизические исследования при поисках и разведке строительных материалов на Дальнем Востоке // Тихоокеанская геология. – Т.25. – №4. – 2006. – С. 69-78.

4. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: «Недра», 1990. – 502 с.

5. Чернышёв С.Н. Трещины горных пород: учебник. – М.: Наука, 1983. – 240 с.

6. Ganerod G.V., Ronning J.S., Dalsegg E., Elvebakk H., Holmoy K., Nilsen B., Braathen A. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // Bulletin of Engineering and the Environment. – V65. – 2006. – P. 231-243.

7. Loke, M. H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [Электронный ресурс]. – 2012. – 148 р. – Режим доступа: URL: www.geotomo.com. Яз. англ.

EVALUATION OF ROCK MASS FRACTURING BASED ON ELECTRICAL RESISTIVITY IMAGING MODELS

Ryazantsev Pavel

Institute of Geology Karelian Research Center Russian Academy of Science, Petrozavodsk chthonian@yandex.ru

Abstract. The article considers possibilities of electrical resistivity imaging when evaluating fracturing. The correlation between resistivity and fracturing is defined. The features of electrical resistivity imaging when the field observations and data processing is determined/ Examples of crack pattern localization are examined.

Key words: electrical resistivity imaging, fracturing, model, resistivity, rock massif

УДК 550.837

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

Самойлова Ольга Михайловна ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский olgasm415@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены результаты изучения магнитотеллурического поля на восточном побережье южной Камчатки в пробных моделях. Использованы 3 модели: с однородным осадочно-вулканогенным чехлом, с детализированной восточной береговой линией и с проводящим слоем в литосфере. Описано поведение кривых зондирования в зависимости от расположения пунктов наблюдения по отношению к береговой линии.

Ключевые слова: магнитотеллурическое поле, береговой эффект, численное трехмерное моделирование.

Одной из актуальных задач на сегодняшний день является изучение области перехода «океан – континент». На Камчатке сведения о такой области ограничены данными сейсмометрии и мелкомасштабной магнитной и гравиметрической съемок. Работы методами электроразведки дают только обобщенные представления о распределении глубинной электропроводности южной Камчатки, т.к. проводились на удалении от побережья [1]. В 2009 г. компаниями ОАО «Камчатгеология» и ООО «Северо-запад» выполнены магнитотеллурические зондирования (МТЗ) вдоль юго-восточного побережья Камчатки по профилю протяженностью около 150 км. Работа с экспериментальными данными пока выполнена на уровне качественной интерпретации [2]. Для определения количественных параметров среды необходимо изучить те факторы, которые в сильной степени искажают кривые МТЗ. Во-первых, это действие берегового эффекта, возникающего из-за контраста сопротивлений двух сред – суши и воды. Во-вторых, это сложное очертание береговой линии, влекущее возникновение трехмерных эффектов. Таким образом, цель настоящей работы состоит в том, чтобы с помощью численного моделирования продемонстрировать поведение магнитотеллурического поля в разных ситуациях.

Численное трехмерное моделирование магнитотеллурического поля Камчатки осуществлялось с помощью программы Макки [3]. В первой пробной модели (другое ее название стандартная модель) удельное электрическое сопротивление суши составляет 30 Ом·м, и оно принято постоянным на всей территории региона. Это необходимо для определения влияния берегового эффекта независимо от влияния геоэлектрических неоднородностей осадочно-вулканогенного чехла. Сопротивление морской воды составляет 0,25 Ом·м. Модель содержит 60 блоков по оси Х, 150 – по оси Y и 12 – по оси Z. Мощность осадочно-вулканогенного чехла достигает 5 км. По мере увеличения глубины значения удельного электрического сопротивления понижаются. На рисунке 1 представлен фрагмент батиметрической карты для южной Камчатки, которая была взята за основу для построения пробной модели. На этом же рисунке показан профиль МТЗ. По итогам моделирования в каждом пункте наблюдения по профилю получены по 3 кривые кажущегося удельного сопротивления и фаз импеданса: продольная, поперечная и локально-нормальная. На рисунке 2 продемонстрирован пример модельных кривых, построенных для двух районов профиля. Анализ данных показал, что продольные и поперечные кривые в низкочастотной области отклоняются от локальнонормальной. При этом, чем ближе точка зондирования к водной среде, тем раньше начинается отклонение кривых. В южной части профиля заметное отклонение начинается на периодах около 80 с, при удалении профиля от берега период увеличивается до 100 с. Для сравнения поведения магнитотеллурического поля данные моделирования по профилю сопоставлены с данными моделирования в точках, расположенных ближе к центральной части полуострова. В них отклонение кривых начинается гораздо позже, примерно с периода 225 с. Поперечная кривая в низкочастотной области имеет вид восходящей асимптотической ветви вблизи береговой линии, на удалении от водной среды на этой кривой появляется максимум. Это говорит о разной степени воздействия контраста электропроводности суши и океана на магнитотеллурическое поле.



Рис. 1. Южный фрагмент батиметрической карты с расположением профиля МТЗ. 1 – профиль МТЗ; 2 – номера районов; 3 – изобаты; 4 – границы районов.

Далее в исходную модель был введен проводящий слой, параметры которого определялись на основании данных предшествующих магнитотеллурических исследований [1]. Так, удельное электрическое сопротивление слоя составляет 20 Ом·м, мощность равна 20 км, а глубина залегания его кровли расположена на 30 км. Анализ результатов моделирования показал, что заметное отклонение амплитудных кривых от локально-нормальной начинается на более поздних периодах в прибрежной зоне – около 400 с, а на удалении от берега – на периодах около 900 с. Таким образом, видно, что до указанных периодов действие берегового эффекта ослабляется.



Рис. 2. Модельные кривые МТЗ для стандартной глубинной модели. 1 – продольные, 2 – поперечные, 3 – локально-нормальные.

В связи с тем, что восточная береговая линия имеет сложное очертание, была составлена еще одна пробная модель, в которой блоки на восточном побережье уменьшены с 7,5 x 7,5 км на 3,5 x 3,5 км. Полученные по такой модели кривые начали отклоняться от локально-нормальной раньше и сильнее: вблизи воды на периодах около 50 с, на удалении – на периодах около 70 с. Подобное поведение кривых говорит об усилении эффектов, связанных с обтеканием Камчатки электрическими токами. При продольной поляризации происходит возрастание магнитного поля и убывание электрического, поэтому продольные кривые кажущегося удельного сопротивления имеют заниженный уровень в области больших периодов. При поперечной поляризации происходит возрастание з одной толщи в другую, в результате чего в осадочно-вулканогенном чехле создается избыток тока. Это приводит к появлению ложных восходящих ветвей на поперечных кривых кажущегося сопротивления.

Тщательное изучение магнитотеллурического поля в пробных моделях позволяет определить, с каких периодов и в какой степени на него действует береговой эффект. Такая информация необходима для перехода от качественной к количественной интерпретации, при которой используют двумерные или трехмерные программы инверсии. В случае расположения профиля вдоль побережья данные МТЗ на периодах более 400 с искажены действием берегового эффекта, что требует применения трехмерной инверсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мороз Ю.Ф. Электропроводность земной коры и верхней мантии Камчатки. – М.: Наука, 1991. – 181 с.

2. Мороз Ю.Ф., Самойлова О.М. Глубинное строение вулканической зоны южной Камчатки по геофизическим данным // Вулканология и Сейсмология. – 2013. – № 2. – С. 1-15.

3. Mackie K.L., Smith J.T. and Madden T.R. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example // Radio Science. $-1994. - N_{\odot} 4. - P. 923-935.$

NUMERICAL MODELLING OF MAGNETOTELLURIC FIELD OF SOUTH-EAST KAMCHATKA COAST

Samoylova Olga

IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky e-mail: olgasm415@mail.ru

Summary. The results of magnetotelluric field investigation on east coast of south Kamchatka with using test models have been considered in the research. There are 3 models in the research: the first one is the model with homogeneous sedimentary case, the second one is the model with detailed east coastline and the third one is the model with layer of high conductivity in the lithosphere. The research has description of sounding curves depending on disposition of sounding points.

Key words: magnetotelluric field, shore effect, numerical tree-dimensional modeling.

УДК 550.83

НОВЫЙ ЦИФРОВОЙ ВАРИАНТ УТОЧНЕННОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗЕМНОЙ КОРЫ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Саргсян Рудольф Суренович, Авдалян Арман Грачович, Оганесян Амаяк Оганесович ИГИС НАН РА, Гюмри hmayak.hovhannisyan@bk.ru, rudolf-sargsyan@mail.ru, armando1981@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы уточнения глубинного строения земной коры с помощью гравиметрических данных. Предпринята попытка уточнения гравитационной модели глубины залегания поверхности кристаллического фундамента по истинным плотностям пород промежуточного слоя.

Ключевые слова. гравитационная модель, кристаллический фундамент, блоковое строение

Основной целью работы является построение нового цифрового варианта гравитационной модели поверхности кристаллического фундамента и блокового строения по истинным плотностям промежуточного слоя. Основой для решения данной задачи является ранее построенная нами одноименная модель земной коры территории Армении в масштабе 1:200 000 и другие геолого-геофизические данные [1-4].

Поскольку в работах гравитационного моделирования земной коры территории Армении была использована карта в масштабе 1:200 000 гравитационного поля аномалии Буге, составленная по плотности промежуточного слоя равной 2.67 г/см³, то имея сложное геологическое строение, верхний слой земной коры представлен как вулкано-генно-осадочными, так и интрузивными горными породами, плотность которых колеблется между 2.10-2.90 г/см³, следовательно истинные плотности промежуточного слоя

различаются от принятых 2.67 г/см³ значений от 9 % до 21 %, что будет иметь существенное влияние на конечные результаты.

Следующим шагом была внесена соответствующая поправка, после чего с помощью осреднения были оценены локальные и региональные составляющие гравитационного поля. В результате была построена новая карта локальных аномалий гравитационного поля по истинным плотностям в масштабе 1: 200 000 (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, на территории выделены несколько аномальных зон первой категории, в которых сила тяжести превышает 10 мгл. Они имеют общекавказское северо-запад-юго-восточное направление. Зоны выражены тремя положительными и двумя отрицательными локальными аномалиями. Юго-западная положительныя аномальная зона включает в себя территорию по направлению Урцадзор-Тазагюх-Эчмиадзин-Талин, центральную зону положительных аномалий по направлению Севан-Раздан-Арзакан-Апаран-Спитак-Амасия и примыкает к приподнятым частям кристаллического фундамента палеозойского и докембрийского возраста, а также к офиолитовым зонам. Что касается центральной и юго-восточной зонам отрицательной аномалии, то первая из них примыкает к территории Кафанской (направление Кафан-Сисиан-Джермук), а вторая к Ширакской синклинали (направление Абовян-Аштарак-Арагац-Гюмри).



Рис. 1. Карта локальных аномалий гравитационного поля территории Армении. Условные обозначения – 1. Линии изоаномалий, 2. Нулевая изоаномалия

Аномальные зоны гравитационного поля первой категории обусловлены, в первом случае юрскими породами, а во втором – Мегринской интрузией. Аномальные зоны гравитационного поля второго порядка обусловлены неоднородным геологическим строением, в частности наличием рудных тел. Различия между максимальными и минимальными величинами гравитационного поля между нынешней и предыдущей версиями составили от 14% до 10%, что в результате привело к изменению максимальных и минимальных величин поверхности залегания кристаллического фундамента в интервале 0.5-1.5 км. Поверхность кристаллического фундамента, построенная на основе пересчета и поправки ранее построенной гравитационной модели фундамента [3] с учетом местных плотностей, характеризуется весьма сложным рельефом, на котором можно выделить относительно приподнятые и опущенные участки (рис. 2). Как видно из рисунка 2, глубоким залеганием поверхности фундамента характеризуются районы расположения вулканов Гегамского нагорья, Варденисского и Карабахского хребтов, Арагац, Араилер и другие, а также дно озера Севан, Ширакская котловина, Вайоцдзорский, Лорийский, Зангезурский прогибы и др. Относительно приподнятые участки поверхности фундамента в геологическом отношении соответствуют районам выхода на поверхность докембрийских и палеозойских пород, а также районам распространения интрузивных пород основного и ультраосновного состава.



Рис. 2. Карта поверхности и блокового строения кристаллического фундамента территории Армении, по гравиметрическим данным

Таким образом, из полученных результатов можно заключить, что поверхность кристаллического фундамента земной коры территории Армении имеет весьма сложное строение. На модели поверхности фундамента наблюдаются резкие изменения глубины залегания фундамента, сопровождающиеся нарушениями различного характера и глубины залегания, наличие которых свидетельствует о бликовом строении верхней части земной коры.

Исходя из глубины залегания контактной поверхности гравитационной модели, блоки фундамента подразделены на четыре основные группы. В блоках первой группы фундамент залегает на глубине 4,5-8 км ниже уровня моря, 2-ой группы контактная поверхность фундамента залегает 0-4 км, 3-ей группы (выступы) фундамент залегает выше уровня моря и 4-ой группы контактная поверхность совпадает с поверхностью интрузивных пород, основного и ультраосновного состава.

Наиболее крупными блоками в пределах исследуемой территории являются принадлежащие к первой группе: Большой и Малый Севанский, Арагац-Кучакский и Ширакский. Севанский блок площадью около 900 км² охватывает в основном территорию Большого и Малого Севана (Б. и М. Севан). Поверхность фундамента залегает на глубине 5 км в районе стыка Большого и Малого Севана, а в сторону восточной части Б. Севана достигает 8 км ниже уровня моря. Интенсивность локального поля $\Delta g_{лок}$ (0-5 км) в пределах блока достигает от 28 мгл до 30 мгл.

Следующий крупный блок, который также входит в первую группу, это Арагац-Кучакский – площадью около 350 км². Глубина залегания поверхности фундамента здесь составляет от 4,5 до 7 км. Интенсивность локального отрицательного поля достигает 32 мгл. Ширакский блок с площадью около 300 км² охватывает территорию Ширакской котловины. Глубина поверхности кристаллического фундамента в пределах котловины достигает 5 км ниже уровня моря, а интенсивность локального минимума по карте $\Delta g_{лок}$ (0-5 км) составляет 14 мгл.

Во второй группе блоков следует отметить Степанаван-Таширский, Цахкадзорский, Дилиджан-Чамбаракский, Гарнийский, Южно-Гегамский, Вайоцдзорский, Джермукский, Каджаран-Мегрийский и др. Наиболее ярко выраженными из приподнятых блоков третьей группы, в которых поверхность фундамента залегает выше уровня моря, а местами даже выходит на дневную поверхность можно отметить Ахуранский, Разданский, Маргаовитский, Апаран-Арзаканский блоки в центральной части исследуемой территории и широкую (до 15-20 км) полосу приподнятых блоков на юге, которые протягиваются в юго-восточном направлении, разделенную нами на ряд отдельных блоков: Тазагюхский, Вединский и Шатинский. К этой группе относятся также несколько других блоков, расположенных на северо-востоке – Шамшадинский и на юговостоке – Зангезурский. Сопоставление полученных результатов с имеющимися геолого-геофизическими, особенно скважинными данными показывает, что в большинстве случаев они совпадают. К примеру, можно рассмотреть Арзаканский блок, где по данным гравитационной модели поверхность фундамента залегает на высоте 2 км выше уровня моря, т.е. она выходит на дневную поверхность.

Согласно геологическим данным в пределах этого блока обнажаются самые древние образования территории Армении – породы Байкальского комплекса, представленные интенсивно дислоцированными магматитами, гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморами, верхне-протерозойско – нижне-палеозойского возраста [1]. Другим примером является хорошее соответствие данных станций "Земля" (профиль Маркара-Пойлы) с данными гравитационной модели. По обоим данным фундамент по профилю залегает приблизительно на одинаковых глубинах [4].

Гравитационная модель поверхности кристаллического фундамента находит некоторое подтверждение о залегании на такую глубину в данных нескольких буровых скважин, вскрывающих кровлю поверхности фундамента.

Кристаллический фундамент Араратской котловины (Среднеараксинской зоны), имеет гетерогенное строение и представляет систему приподнятых и опущенных блоков (см. рис. 2). По данным бурения и геофизических исследований отчетливо выделяются Тазагюх-Эчмиадзинский и Вединский выступы, Армавирская и Арташатская впадины [1].

Наиболее приподнятая часть погребенного кристаллического фундамента протягивается по линии Тазагюх-Эчмиадзих-Ахавнатун. В пределах этого выступа кровля поверхности кристаллического фундамента вскрыта буровыми скважинами в Тазагюхе (скв. ОП-6) на глубине 520 м, а на гравитационной модели залегает на глубине 670 км, в Паракаре (скв.114) – 1030 м, а на карте 985 м, вблизи храма Звартноц (скв. 115) – 980 м, на карте 1040 м. В пределах Армавирской впадины у села Тароник (скв. Зейва-8), фундамент вскрыт на глубине 2240 м, а на карте поверхность кристаллического фундамента залегает на глубине 2360 м и в Каракерте (скв. Кармрашен – 15) – 2500 м, а на карте 2560 м.

Согласно приведенному выше ранжированию в 4-ую группу входят те блоки, в пределах которых отличается выход поверхности фундамента на дневную поверхность до отметок от 0,1 до 2,0 км выше уровня моря, к их числу относятся: Базумский, Мусаелян-Амасийский, Базмаберд-Манташский, Севанский и Вардениский. Характерной особенностью этих выступов является совпадение их с областями интрузивных пород и зонами интенсивных горизонтальных градиентов силы тяжести, обусловленными разломами глубинного заложения.

Выводы

• По данным модели реальной плотности промежуточного слоя переоценена глубина поверхности кристаллического фундамента и уточнена соответствующая ей гравитационная модель блокового строения масштаба 1:200000.

• Анализ проведенных работ и полученных результатов показывает высокую эффективность использования методики поправки гравитационной модели поверхности кристаллического фундамента с учетом местных плотностей, в результате реализации которой получено существенное подтверждение в имеющихся геолого-геофизических и скважинных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР, Том XLIII. Армянская ССР. Геологическое описания. – М.: Недра, 1970. – 464 с.,

 Карапетян Э.М. Изучение связи между плотностью и пористостью пород араратской котловины // Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. Т. ХХІІІ. – N2, 1970. – С. 78-79.
 Оганесян С.М., Оганесян А.О., Гаспарян Г.С., Фиданян Ф.М. Структурно-

3. Оганесян С.М., Оганесян А.О., Гаспарян Г.С., Фиданян Ф.М. Структурнодинамическая характеристика земной коры территории Армении по комплексу геофизических данных // Изв. НАН РА, Науки о Земле. – 2005, N3. – С. 46-53.

4. Егоркина Г.В. Структура земной коры и верхней мантии Малого Кавказа (Армения) по данным объемных волн // В кн.: Строение земной коры и верхней мантии, Центральной и Восточной Европы. – Киев: Наукова думка, 1978. – С. 199-205.

THE NEW DIGITAL VERSION OF ELABORATED GRAVITATIONAL MODEL OF THE EARTH CRUST CRYSTALLINE FUNDAMENT OF THE TERRITORY OF ARMENIA

Hmayak Hovhannisyan, Rudolf Sargsyan, Arman Avdalyan IGES NAS RA, Gyumri hmayak.hovhannisyan@bk.ru, rudolf-sargsyan@mail.ru, armando1981@mail.ru

Summary. The problems of elaboration of the Earth crust deep structure by gravitational data are considered in the article. An attempt to elaborate the Earth crust crystalline fundament surface was undertaken by the real density values of the intermediate layer rocks.

Key words: gravitational model, crystalline fundament, block structure

УДК 550.34.016 ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ УЧАСТКОВ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД

Селетков Илья Алексеевич, Пономарева Ксения Витальевна ПГНИУ, г. Пермь Seletkov.Ilya@gmail.com, Ksuoks@list.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования изменений характеристик волнового поля, обусловленных наличием карстующихся пород, на примере Ординской пещеры.

Ключевые слова: характеристики волнового поля, Ординская пещера

В настоящее время Ординская пещера является длиннейшей подводной пещерой России и СНГ, с протяженностью подводной части около 4000 м [3]. Среди гипсовых подводных пещер Ординская занимает первое место в мире по длине. Исследование пещеры началось в начале 1990-х годов и ведется до сих пор. В настоящее время с целью изучения особенностей протекания карстовых процессов в районе развития пещеры проводятся наземные сейсморазведочные исследования. В соответствии с этим сформулирована цель работы: выявление признаков изменения волновых характеристик, обусловленных наличием карстующихся пород.

Пещера находится в 100 км к юго-востоку от города Перми, близ юго-западной окраины села Орда, в недрах Казаковской горы. Пещера заложена в иренском горизонте нижнего отдела пермской системы, представленном гипсами, ангидритами и доломитами. Абсолютная отметка подошвы обводненной части пещеры находится на высоте 120 м, а кровли сухой части – приблизительно на высоте 170 м. Общая амплитуда составляет 50 м.

Ординская пещера представляет большой интерес для дайверов, приезжающих туда со всей России и, более того, со всего мира. Поэтому нами изучалась только наиболее интересная для дайвинга, обводненная часть пещеры, которая залегает в породах ледянопещерской и неволинской пачек иренского горизонта кунгурского яруса нижнего отдела пермской системы, представленных гипсоангидритами с прослоями доломита. Специалистами установлено, что их абсолютные отметки составляют 111-115 м и 135-137 м соответственно [1]. При этом положение уровня воды обводненной части пещеры установлено на отметке 137,5 м. Поэтому для исследования выбран интервал разреза с альтитудами 120-140 м.

Стоит отметить, что Ординская пещера сложна для изучения стандартными методами геофизики ввиду следующих причин: достаточно большая глубина залегания карстующихся участков (около 50-70 м) и их небольшие размеры, сопоставимые с предельными размерами разрешающей способности метода.

Для определения волновых характеристик массива карстующихся пород использовалась сейсморазведка - геофизический метод исследования земной коры, основанный на регистрации искусственно возбуждаемых упругих волн, методом отраженных волн (МОВ). Параметры системы наблюдения выбирались в соответствии с поставленной целью: шаг между пунктами возбуждения равен шагу между пунктами приема и составлял 2 м, база наблюдений – 96 м, кратность наблюдений – 24, без выноса.

Полученные данные обрабатывались с помощью специализированной сейсмической обрабатывающей системы SPSPC. Применялся следующий (стандартный) граф обработки: препроцессинг, автоматическая регулировка усиления трасс (ARU), центрирование трасс (ARN), нормирование трасс (NORM), нуль-фазовая полосовая фильтрация (FILTER), мьютинг (MUT), сортировка по ОСТ, ввод кинематических поправок (KIN), суммирование по ОСТ (STACK), автоматическое регулирование амплитуд в обработке с сохранением подлинных соотношений амплитуд (DYNQH), подавление некогерентного и когерентного шума (AMCODS), полосовой пространственный фильтр (XTFIL). Стоит отметить, что не вводились статические поправки, т.к. изучается строение приповерхностной части разреза, влияние которой исключилось бы введением поправок. Для примера на рисунке 1 изображены суммарные временные разрезы по двум профильным линиям, которые предположительно пересекают карстовую полость, заполненную водой.



Рис. 1. Суммарные временные разрезы: а) по профилю 5, б) по профилю 1 с прокоррелированными осями синфазности отраженных волн

Проанализировав полученные временные разрезы, можно сделать вывод о том, что изучаемый массив имеет сложное строение – отсутствуют выдержанные оси синфазности, наблюдается выклинивание отражающих горизонтов, ярко выражено поглощение энергии колебаний на отдельных участках, отмечается потеря корреляции записи. Таким образом, эффект, создаваемый во временном поле обводненной карстовой полостью, регистрируется на фоне многочисленных помех различной природы. Стандартные признаки выделения карстовых полостей по набору волновых характеристик не позволяют добиться приемлемого результата, имеется возможность выделения только общего изменения сейсмического поля, создаваемого участками разуплотнения и трещиноватости горных пород. Аномалии, обусловленные наличием известного карстового проявления, либо сопоставимы по своей интенсивности с соседними участками массива, либо практически не выделяются.

В результате изысканий, с учетом вышеизложенных фактов, принято решение изучить мгновенные параметры волновых полей, как кинематические, так и динамические.

Для изучения изменения волновых характеристик в карстующихся породах рассматривались следующие атрибуты: мгновенная эффективная скорость (V'), осредненная эффективная скорость (Avg), накопление эффективных мгновенных скоростей (Kum), приращение осредненной эффективной скорости (gradV), остаточная эффективная скорость (от тренда), мгновенная амплитуда (ampl), модуль мгновенных амплитуд (absAmpl).

Анализируя графики, рассчитанные для каждого пикета вдоль линии профилей, можно определить, что из всего набора характеристик, более информативными являют-

ся эффективная скорость и приращение осредненной эффективной скорости.

Рассмотрим в качестве примера такой параметр как мгновенная эффективная скорость. На рис. 2 представлен график изменения указанного атрибута в интервале 120-140 м над карстующейся частью массива (а) и над сохранной частью массива (б). Для карстующейся части значения изменяются от 1018 до 2060 м/с, а над сохранной частью – от 1162 до 2022 м/с. Среднее значение составляет 1484 м/с. Отклонение от среднего значения над карстующейся частью больше по сравнению с сохранной частью массива. Такой же эффект наблюдается и для остальных графиков, сформированных для каждого пикета.



Рис. 2. Графики изменения мгновенной эффективной скорости: a) над карстующейся частью массива, б) над сохраненной частью массива

При изучении графика приращения осредненной эффективной скорости, представленного на рис. 3, видно, чтодля карстующейся части массива пород значения изменяются от -151 до 115 м/с, а над сохранной частью – от -61 до 87 м/с. Среднее значение составляет 8 м/с. При этом отклонение от среднего значения над карстующейся частью больше по сравнению с сохранной частью массива.



Рис. 3. Графики изменения градиентаосредненной эффективной скорости: а) над карстующейся частью массива, б) над сохраненной частью массива

Таким образом, в результате исследований установлено, что массив пород, в пределах которого расположена Ординская пещера, имеет сложное строение, связанное с различной степенью сохранности литологически разных пород. Эффекты, связанные с наличием в разрезе карстовых полостей Ординской пещеры, при стандартной сейсмической интерпретации, суммарных временных разрезов, практически не проявляются в волновых полях. При этом установить изменения волнового поля, обусловленные именно наличием карстовых пустот, на данный момент, с высокой степенью надежности, не удалось.

Потенциально наиболее перспективным для решения именно задачи выделения участков обводненной части пещеры на фоне сложных зон трещиноватости являются такие параметры как мгновенная эффективная скорость и приращение осредненной эффективной скорости. При анализе указанных характеристик установлено, что наличие карстовой полости приводит к большему отклонению данных атрибутов от средних значений по сравнению с сохранной частью массива. Это дает возможность, при анализе значительного количества информации и использовании математического аппарата, выявлять на качественном уровне горизонтальные галереи Ординской пещеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: учебник для вузов. – Тверь: Издательство АИС, 2006. – С. 5-9.

2. Кадебская О.И., Максимович Н.Г. Геологические, гидрогеологические и гидрохимические предпосылки формирования Ординской пещеры // Пещеры: сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Вып. 32. – С. 13-16.

3. Максимович Н. Г., Максимович Е. Г., Лавров И. А. Ординская пещера. Длиннейшая подводная пещера России. – Пермь, 2006. – С. 18-19.

CHANGES OF WAVEFIELD'S CHARACTERISTICS IN RESEARCH OF AREA WITH ROCKS WHICH UNDERGOING KARST

Seletkov Ilya, Ponomaryova Kseniya Perm State University, Perm Seletkov.Ilya@gmail.com, Ksuoks@list.ru

Summary.This article presents results of research of changes in the wavefield's characteristics. These changes are due to presence of rocks which undergoing karst on the example of Ordinskaya cave. **Keywords:**characteristics of wavefield, Ordinskaya cave

УДК 550.34.01 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ КОРНЕР-ЧАСТОТ ПО СПЕКТРАМ Р И S ВОЛН ДЛЯ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Скоркина Анна Александровна¹, Гусев Александр Александрович^{1,2} ¹КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский anna@emsd.ru ²ИВиС, г. Петропавловск-Камчатский

gusev@emsd.ru

Аннотация. Изучали первую, f_{c1} , вторую, f_{c2} , и третью, f_{c3} , корнерчастоты очаговых спектров землетрясений по записям P и S волн от более 300 землетрясений на 7 акселерометрах камчатской сети. Классический параметр $f_c = f_{c1}$ и отношение $f_{c1}(P)/f_{c1}(S)$ хорошо изучены. Парметр f_{c2} известен, но мало изучен. В отношении параметра f_{c3} (также известного как « f_{max} очагового происхождения») даже его реальность обсуждается до сих пор. Отношения $f_{c2}(P)/f_{c2}(S)$ и $f_{c3}(P)/f_{c3}(S)$ не изучены вовсе. По наблюденным спектрам найдены оценки f_{c1} , f_{c2} и f_{c3} . Построены отношения $f_{c1}(P)/f_{c1}(S)$, $f_{c2}(P)/f_{c2}(S)$ и $f_{c3}(P)/f_{c3}(S)$, близкие в среднем к 1.3, 1.3 и 1.2, соответственно. Изучены зависимости f_{c1} , f_{c2} и f_{c3} от локальной магнитуды, эти зависимости существенно различаются между собой.

Ключевые слова: землетрясение, очаговый спектр, корнер-частота, «*f_{max}*» очагового происхождения, отношение корнер-частот

Выделение характерных частот очаговых спектров землетрясений – "корнерчастот" – представляет интерес как для фундаментальных исследований, посвященных изучению физики очага землетрясений, так и для решения прикладных задач, например, для более точной оценки затухания (суммарно поглощения и рассеяния) сейсмического сигнала для условий определенного региона и конкретной площадки. В частности, неучет реальности f_{c3} (« f_{max} » очагового происхождения) ведет к систематическим ошибкам типа переоценки потерь и к большому разбросу индивидуальных оценок параметра поглощения «каппа» [2, 7].

Стандартной моделью очагового спектра землетрясения является модель « ω^{-2} » [1, 3], включающая плоский участок при низких частотах $f(\neg f^0)$ и убывание по f^{-2} на высоких частотах. Эти участки разделены изгибом вблизи характерной (корнер) частоты, $f_{c1} = f_c$. В [3] отмечено, что упомянутый изгиб спектра может расщепляться на два, с корнер-частотами f_{c1} и f_{c2} , между которыми имеется участок спектра с промежуточным трендом, близким к f^{-1} . В наблюдаемых спектрах имеется еще и верхний срез спектра ускорения (« f_{max} ») [5], его обычно приписывают потерям на трассе распространения волны [2]. Но такой срез в ряде случаев обнаруживали и в спектрах, исправленных за потери на трассе. В [4, 6] сделано предположение, что этот срез, далее обозначаемый f_{c3} , определяется очагом.

Система сейсмологических наблюдений, созданная на Камчатке к 2011 г., обеспечивает необходимый материал для изучения очагов землетрясений в области низких и высоких частот [9]. Для опробования методики были выбраны записи акселерометров, расположенных на скальных грунтах, а именно, на станциях: «Дальний» (DAL), «Ходутка» (KDT), «Карымшина» (KRM), «Налычево» (NLC), «Петропавловск» (PET), «Русская» (RUS) и «Шипунский» (SPN), с гипоцентральными расстояниями 80-220 км, диапазоном магнитуд – 3.0-6.8.

Расчеты спектров выполнялись с помощью специализированной диалоговой программы. Она позволяет визуализировать сглаженные спектры Фурье объемных волн в варианте спектра смещения, скорости и ускорения (параллельно), контролировать качество записей и спектров, определять диапазон частот с приемлемым отношением сигнал/шум, вносить поправки за затухание в среде, снимать отсчеты корнер-частот очаговых спектров.

Построены 3559 спектров для 410 землетрясений (в основном, в полосе частот 0.5-30 Гц). Записи с высоким уровнем шума, наложениями местных землетрясений (особенно характерных для роя), а также спектры событий, записанных менее чем тремя станциями, были исключены из анализа. Эмпирические спектры P и S волн, полученные БПФ, и приведенные к очагу (путем внесения поправки за затухание, для чего воспользовались оценками из [7]), сглаживались с постоянным шагом по логарифму частоты, и с шириной полосы 2/3 октавы. Далее в интерактивном режиме с кривых сглаженных спектров снимались, при возможности, оценки корнер-частот. Таким образом, удалось снять значения корнер-частот для 3395 спектров (1715 – для P волн и 1680 – для S волн) для 324 землетрясений. На рис. 1 приведен график записей ускорения на трех компонентах ст. КRM, скопированный из диалогового окна, а на рис. 2 – аналогичный график со спектром *P* волны на вертикальном канале этой станции.



Рис. 1. Трехкомпонентная запись ускорения на ст. КRM при землетрясении 2011.10.02 в 06:35:40. Две пары вертикальных линий отмечают участки записи, использованные для оценки спектров *P* и *S* волн



Рис. 2. Спектр *Р* волны для записи с рис. 1, представленный, справа налево, как спектр смещения, скорости и ускорения. На каждом графике светло-серая линия – спектр, приведенный к очагу путем введения коррекции за затухание. Ниже, темно-серая линия – исходный спектр записи (сглаженный). Еще ниже, тонкий пунктир – спектр шума в окне той же длительности. Черные ломаные построены интерактивно, точки излома дают оценки корнер-частоты: *f*_{c1} ≈2.5 Гц, и *f*_{c2} ≈10 Гц. В данном случае *f*_{c3} = *f*_{c2}

После получения оценок корнер-частот был проведен первичный анализ внутренней согласованности этих оценок. Сравнивали оценки, полученные несколькими способами.

На первом этапе составляли оценки f_{c1} , f_{c2} , каждая из которых снималась с двух типов графиков (для f_{c1} – по графикам спектров d(f) и $v(f) = 2\pi f d(f)$; для f_{c2} – по графикам спектров v(f) и $a(f) = 2\pi f v(f)$). В случае идеальной или простой формы спектров оценки должны совпасть. Во всех четырех изученных случаях (f_{c1} по спектрам P либо Sволн, f_{c2} по спектрам P либо S волн) разброс между оценками двух типов мал (в среднем, менее 0.04 десятичного логарифма или 10%), что в определенной мере подтверждает приемлемость принятой интерактивной методики снятия оценок корнер-частот. Пример контрольного графика приведен на рис. 3.



Рис. 3. Проверка согласия оценок f_{c1} и f_{c2} , определенных в интерактивном режиме при просмотре в разных диалоговых окнах спектров смещения и скорости (в случае f_{c1}) и спектров скорости и ускорения (в случае f_{c2})

На втором этапе сопоставляли оценки f_{c1}, f_{c2}, f_{c3} , определенные по спектрам P и S волн на одной и той же станции (рис. 4). Надо отметить, что теория и опыт интерпретации не предсказывают близкого совпадения оценок. Для первой корнер-частоты обычное значение для отношения $f_{c1}(P)/f_{c1}(S)$ – около 1.2-1.5, причем в среднем $f_{c1}(P)$ и $f_{c1}(S)$ пропорциональны друг другу. Полученные оценки – в согласии с литературными. Соотношения $f_{c2}(P)$ и $f_{c2}(S), f_{c3}(P)$ и $f_{c3}(S)$ изучаются впервые, и для них не существует теоретических прогнозов. Проанализированные новые результаты неплохо согласуются с идеей пропорциональности между $f_{c2}(P)$ и $f_{c2}(S)$, но на фоне существенного разброса. Соотношение $f_{c3}(P)$ и $f_{c3}(S)$ также изучается впервые. Проанализированные данные указывают на слабую, но значимую пропорциональность данных величин, их отношение – около 1.2, а разброс аналогичен наблюдаемому для f_{c1} . Выявление пропорциональности между $f_{c3}(P)$ и $f_{c3}(S)$ имеет большое научное значение, так как указывает на реальность самого параметра f_{c3} .



Рис. 4. Сопоставление оценок второй, f_{c2} (слева) и третьей, f_{c3} (справа) корнерчастот, полученных по спектрам P и S волн. В обоих случаях данные указывают на пропорциональность между парами оценок, но в комбинации с большим разбросом



Рис. 5. Зависимость характерных частот f_{c1}, f_{c2}, f_{c3} , определенных по спектрам *P* волн, от локальной магнитуды *ML*. На фоне большого разброса можно видеть, что данные f_{c1} примерно согласуются с гипотезой подобия, в то время как тренды для f_{c2} , и еще в большей степени для f_{c3} , этой гипотезе явно противоречат

Далее изучали среднесетевые оценки корнер-частот, полученные осреднением оценок по не менее чем трем станциям. (Разброс между станционными оценками – около 0.2 лог. ед.). На рис. 5 построена зависимость f_{c1}, f_{c2}, f_{c3} от локальной магнитуды ML. В предварительном порядке обнаружено наличие приблизительно линейной связи между $\lg f_{c1}(P)$ и ML, а также $\lg f_{c1}(S)$ и ML. Данный результат не нов, но важен для контроля методики. Аналогичные тенденции приблизительно линейной зависимости от ML обнаружены также для: $\lg f_{c2}(P), \lg f_{c2}(S), \lg f_{c3}(P)$ и $\lg f_{c3}(S)$.

Большой интерес представляла проверка вывода [8] о различии характера скейлинга для первой, второй и третьей корнер-частот (рис. 5). На фоне большого разброса можно видеть, что данные f_{c1} примерно согласуются с гипотезой подобия, в то время как тренды для параметра f_{c2} , и еще в большей степени для f_{c3} , этой гипотезе явно противоречат. Это предварительное наблюдение согласуется с выводами [4, 8].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00621) в Камчатском филиале Геофизической службы РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aki, K. Scaling law of seismic spectrum // Journal of Geophysical Research. – 1967. – vol. 72. – P. 1217-1231.

2. Anderson, J.G. and Hough, S.E. A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1984. – vol. 74. – P. 1969-1993.

3. Brune, J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // Journal of Geophysical Research. – 1970. – vol. 75. – P. 4997-5009.

4. Gusev, A.A. Descriptive statistical model of earthquake source radiation to an estimation of short-period strong motion // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. – 1983. – vol. 74. – P. 787-808.

5. Hanks, T.C. f_{max} // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1982. – vol. 72. – P. 1867-1879.

6. Papageorgiou, A.S. and Aki, K. A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. 1. Description of

the model // Bulletin of the Seismological Society of America. -1983. - vol. 73. - P. 693-722.

7. Гусев А.А., Гусева Е.М. Оценка затухания поперечных волн по спаду спектра вблизи ст. «Петропавловск», Камчатка // Физика Земли. – сдано в печать.

8. Гусев А.А., Гусева Е.М. Скейлинговые свойства характерных частот очаговых спектров землетрясений Камчатки // ДАН. – 2014. – Т. 458. – №1. – С. 88-91.

9. Чебров В.Н., Дрознин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – №1. – С. 18-40.

IDENTIFICATION OF SECOND AND THIRD CORNER FREQUENCIES USING P AND S SPECTRA OF NEAR KAMCHATKA EARTHQUAKES

Skorkina Anna¹, Gusev Alexander^{1,2} ¹KB GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky anna@emsd.ru ²IVS, Petropavlovsk-Kamchatsky gusev@emsd.ru

Abstract. The first, second and third corner-frequencies f_{c1} , f_{c2} and f_{c3} of earthquake source spectra were studied using records of P and S waves from more than 300 earthquakes on 7 accelerometers of the Kamchatka network. The classical parameter f_{c1} and the $f_{c1}(P)/f_{c1}(S)$ ratio are well studied. The f_{c2} parameter is known, but it is not widely studied. As for the f_{c3} parameter (also known as «source-controlled f_{max} ») even its reality is under discussion. The ratios $f_{c2}(P)/f_{c2}(S)$ and $f_{c3}(P)/f_{c3}(S)$ are not studied at all. The estimates for f_{c1} , f_{c2} and f_{c3} are made. The ratios $f_{c1}(P)/f_{c1}(S)$, $f_{c2}(P)/f_{c2}(S)$ and $f_{c3}(P)/f_{c3}(S)$, are equal, on the average, to 1.3, 1.3 and 1.2, correspondingly. The relationships f_{c1} , f_{c2} and f_{c3} vs. local magnitude are studied, these differ significantly among themselves. **Keywords:** earthquake, source spectrum, corner-frequency, source-controlled f_{max} , the corner-frequency ratio

УДК 550.34.01 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Терещенко Максим Викторович ТИ (ф) СВФУ в г.Нерюнгри, г. Нерюнгри terexa@pochta.ru

Аннотация. Для построения математической модели сейсмических событий необходимо обеспечить систематизацию и сохранность экспериментальных данных, их корректную обработку с целью выявления геофизических предвестников. Предложена структура реляционной базы данных и реализован программный комплекс обработки статистических данных наблюдений с визуализацией итогов анализа и результатов применения математических методов. Ключевые слова: сейсмическая активность, база данных, геофизические предвестники, математические фильтры, землетрясения, моделирование

Необходимость изучения сейсмической активности Южной Якутии с целью оценки [3], районирования и прогнозирования сейсмической среды обусловлена новым витком промышленного освоения угольных, газоконденсатных и железорудных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока.

С целью регистрации, первичной обработки и хранения первичных геофизических и сейсмологических данных в г. Нерюнгри функционирует научноисследовательская лаборатория мониторинга и прогноза сейсмических событий, оснащенная современной геофизической аппаратурой (рис. 1).



Рис. 1. Комплекс геофизического и сейсмологического оборудования

Применяемый комплекс геофизического и сейсмологического оборудования позволил организовать непрерывные наблюдения геофизических полей с регистрацией различных параметров. Вместе с тем, уровень автоматизации процессов обработки первичных данных недостаточен, а наряду с формированием их единой базы данных для последующего анализа является непозволительно трудоемким.

Оценка динамики геофизических показателей, выявление возможных зависимостей – это нестандартная задача [1], так как непериодические изменения указанных данных в период изменения сейсмической активности зачастую вызваны не только локальными, но и региональными причинами. Необходимо отметить, что при проведении анализа выявленных аномалий возможны ситуации получения различных комбинаций предвестников сейсмических событий из одного набора данных, т.е. каждый этап процесса прогнозирования базируется на определенном наборе предвестников, предшествующих возникновению землетрясения [2].

С целью организации хранения результатов наблюдений с обеспечением заданной точности и устранения избыточности исходных данных для их последующей обработки и анализа разработана база данных (рис. 2) SeismicEvents (БД) в системе управления базами данных MySQL (СУБД). С целью исключения избыточности в статистических данных и снижения их потенциальной противоречивости проведена оценка соответствия созданных таблиц правилам нормализации.

Нормализация проведена с учетом первых 3-х нормальных форм, в т.ч. с реализацией транзитивной функциональной зависимости множества атрибутов Z от множества атрибутов X (X \rightarrow Z), т.е. функциональные зависимости X \rightarrow Z, X \rightarrow Y и Y \rightarrow Z не являются тривиальными.



Рис. 2. Фрагмент схемы базы данных SeismicEvents

В базе данных реализованы все виды допустимых отношений, что позволяет организовать хранение необходимых параметров с обеспечением существующих взаимосвязей: 1÷1 (один-к-одному), 1÷ ∞ / ∞ ÷ 1 (один-ко-многим), ∞ ÷ ∞ (многие-ко-многим через последовательную реализацию взаимоотношений ∞ ÷ 1 и 1÷ ∞).

Разработанная база данных позволила консолидировать эмпирические данные многолетних наблюдений, систематизировать и упорядочить их обработку и анализ.

Доступ к базе данных, наполнение ее исходными и обработанными данными, визуализация как геофизических и сейсмологических параметров, так и других сведений, реализованы через программное обеспечение (рис. 3), разработанное в интегрированной среде разработки программного обеспечения Embarcadero Delphi, входящей в пакет Embarcadero RAD Studio XE7.

Выбор обусловлен понятностью языка программирования, независимостью от стороннего ПО (например, Microsoft .NET Framework, Java Virtual Machine), контролем выделения и освобождения памяти, что повышает требования к качеству кода, но позволяет создавать сложные приложения (работа в реальном времени).

Программный код реализован на языке Delphi. При этом основные задачи формирования, обработки, контроля и анализа БД реализованы на языке SQL, основанном на исчислении кортежей, и представляющим собой совокупность операторов реляционной алгебры и выражений реляционного исчисления. При обращении к БД применяются динамические запросы, которые допускают использование параметров (:ParamName).

Леню Д	анные Визу	ализаци	я Модел	ирован	ие Опции	и Помо	щь						
аталог се	йсмических со	бытий:			Выбор	а анализ	ируемого	периода:	01.01.201	2 🔻	11.11.20	12	•
Код	Data	Tp_dir	Тр	Ts_dir	Ts	Delta_o	Delta_S	0	E_av	ZNE	NE	AZ_	
82	01.07.2012	+iP	11:33:38	ES	11:33:57	1,4	10	11:33:12	37,1	230,0	231,0		
83	02.07.2012	+eP	03:38:15	NS	03:38:38	1,7	10	03:37:45	34,1	248,5	249,6		-
84	02.07.2012	-eP	22:01:29	ES	22:01:55	2,0	10	22:00:56	29,2	310,9	234,8		
85	04.07.2012	-iP	17:45:45	ES	17:46:10	2,0	10	17:45:11	22,1	330,3	333,4		
86	09.07.2012	+eP	21:52:57	NS	21:53:06	0,6	10	21:52:46	29,1	250,6	264,8		-

Рис. 3. Фрагмент формы программного модуля Seismic

Интерфейс программного комплекса предоставляет исследователю определить условия импорта данных: тип импортируемой информации (регистрируемый параметр); параметры копирования дублируемых данных; порядок обработки записей.

Сейсмическая активность представляется в виде временных рядов, методы анализа которых широко применяются для обработки при решении задач в области теории случайных процессов. Выполнение сглаживания колебаний временных рядов регистрируемых геофизических и сейсмологических параметров используется для выделения основных тенденций в динамике их развития, а значит, и сейсмических и геофизических процессов. Данная возможность реализована в модуле GraphicUnit.

Обработка экспериментальных данных, их уточнение, дальнейшее преобразование и визуализация необходимы для математического моделирования сейсмических процессов, а значит, и построения соответствующей модели.

Вместе с тем, с целью повышения в дальнейшем точности модели и уменьшения погрешности расчетов, оценки, исходные значения необходимо сохранить. Для этих целей в базе данных предусмотрены таблицы MinuteData, HourData.

В программном комплексе реализованы различные алгоритмы статистической обработки временных рядов [5]. Их выбор обусловлен как предпочтениями конкретного исследователя, так и спецификой каждого регистрируемого и анализируемого параметра сейсмического процесса – потенциального предвестника.

Предварительная обработка экспериментальных геофизических данных (рис. 4), реализованная в программе SeismAnalyzer, обеспечивает, в т.ч., сглаживание методами:

$$SMA_{t} = \frac{1}{n} \sum_{t=t-p}^{t=t+p} y_{t}$$
(1)

где t > p, p= (m-1) / 2, n – длина сглаживания или период скользящей средней;

2) линейно-взвешенного скользящего среднего (WMA):

WMA_t =
$$\frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=0}^{n-1} (n-i) p_{t-i}$$
 (2)

где n – размер окна, p_{t-i} – значение исходной функции в момент времени t-i;

3) экспоненциальное взвешенное скользящее среднее EMA $EMA_t = \alpha \cdot p_t + (1 - \alpha) * EMA_{t-1}$ (3)

как правило, α∈(0,1/3);

4) медианного фильтра. Выходной сигнал y_k для фильтра шириной 2n+1 для отсчета k формируется из входного временного ряда (..., x_{k-1} , x_k , x_{k+1} ,...) по формуле:

 $y_k = Me(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+n-1}, x_{k+n})$ (4) где $Me(x_1,...,x_m,...,x_{2n+1})=x_{n+1}, x_m$ - элементы вариационного ряда Динамика геофизических параметров Результат обработки выбранного параметра 3.8 3.8 3,6 3,6 3,4 3,4 3.2 3.2 3 08.10.2011 15.10.2011 22.10.2011 28

Рис. 4. Вывод результатов обработки временного ряда с апертурой 5
Возможность наложения графиков различных геофизических параметров с применением методов сглаживания и сдвига на определенный исследователем интервал позволяет выявить имеющий место тренд, явные и скрытые взаимосвязи.

Математическое моделирование сейсмических процессов включает в себя оценку активности заданного региона на базе ретроспективного анализа. Реализация возможности визуализации накопленных статистических данных с корректируемыми условиями позволяет более корректно определить параметры соответствующей модели.

Необходимо отметить, что погрешность моделирования в этом случае, зависит также и от качества применяемой карты (рис. 5).



Рис. 5. Графическое представление сейсмичности южно-якутского региона

С целью реализации указанных задач разработан программный комплекс, автоматизирующий процессы обработки и анализа экспериментальных данных (рис. 6).



Рис. 6. Обобщенная схема программного комплекса

Результаты многолетних наблюдений и графическая интерпретация экспериментальных геофизических данных позволили установить наличие аномального поведения геофизических полей [4]. При этом, применение математического аппарата для анализа накопленной в БД информации позволило установить наличие трендов, в т.ч. сезонных и суточных, в динамике развития сейсмических процессов.

Предложенное программное обеспечение позволило автоматизировать трудоемкий процесс обработки экспериментальных данных с визуализацией динамики сейсмической активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

 Большаков А.А., Каримов Р.Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – С. 368.
 Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация / А.Д. Завьялов // Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – М.: Наука, 2006. – С. 8.
 Имаев В.С. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии: монография / В.С. Имаев, С.В. Трофименко, Н.Н.Гриб, Л.П. Имаева, Б.М. Козьмин, А.И. Мельников, В.М. Никитин, А.С. Статива. – Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) ЯГУ, 2007. – С. 138-140.

4. Гриб Н.Н., Терещенко М.В. Динамика сейсмического режима и геофизических полей в Ю.-Якутском регионе // Фундаментальные исследования. – 2014. –№9, часть 4. – С. 784-788.

5. Карманов Ф.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Лабораторный практикум с использованием пакета MathCad: учеб.пособие / Ф.И. Карманов, В.А. Острейковский. – М.: Абрис, 2012. – С. 138-144.

THE MATHEMATICAL MODELING OF SOUTHERN YAKUTIA SEISMIC ACTIVITY

Tereschenko Maxim TI (branch) of NEFU, Nerungri terexa@pochta.ru

Summary. This article describes the experimental data systematization and storage requirements, processing to identify geophysical precursors for seismic events mathematical modeling. The author proposes the relational database structure and statistical data processing software. The article contains information about the software modules of the analysis results visualization and mathematical methods application.

Key words: seismic activity, database, geophysical precursors, mathematical filters, earthquakes, modeling

УДК550.34 К МЕТОДАМ КАРТИРОВАНИЯ УКРАИНСКОГО ЩИТА ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Усупов Шухрат Набиевич

ИГССС АН РТ, г. Душанбе usupovshuhrat@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена опыту применения грави-, магнито- и электроразведочных методов в поиске и разведке кимберлитовых трубок и лапроитов, перспективных к проявлению алмазоносных и золоторудных месторождений. В качестве примера приводится опыт работ экспедиции Государственного предприятия «Днепргеофизика», г. Днепропетровск Республики Украина, выполненных на Салтычанском участке Приморского, Черниговского и, частично, Пологовского и Куйбышевского районов Запорожской области Республики Украина. Для интерпретации геолого-геофизических данных использованы программы COSCAD CorelDRAW X3, SURFER. Построены геологические разрезы поперек простирания пород в пределах структуры и рассчитаны геофизические поля. Основные задачи – детальное изучение строения, картирование ультраосновных пород, изучение их морфологии и структуры, изучение кристаллических пород, отложений и рельефа фундамента, выявление рудных полезных ископаемых и алмазов. На основании расчета минимально

ожидаемых размеров аномалий построены геологические карты для определения основных характеристик месторождений.

Ключевые слова. Украинский щит, Западное Приазовье, гравитационное и магнитное поле, электроразведка, редкие металлы, алмазы

Геологические исследования в Западном Приазовье начались еще в конце XVIII в. Детальность этих исследований была неравномерной, так как большая часть работ носила узкоспециализированный характер, и объектом изучения был преимущественно осадочный чехол. В 1960-е годы были выполнены среднемасштабные геологические съемки восточной части Украинского кристаллического щита [1, 2]. В масштабе геологической съемки М:1:200000 выделены крупные геоструктуры – Корсакский, Мангушский синклинории, Салтичанский антиклинорий, ориентировочно выделены границы и морфология Сорокинской тектонической зоны. Вся территория Западного Приазовья в то время была покрыта геологической съемкой масштаба 1:50000, однако выполненные геологические съемки не дали возможности изучения кристаллического фундамента как по площади, так и на глубину. В районе Андреевской магнитной аномалии в 1964 г. были выполнены поисковые работы и доказано, что магнитная аномалия обусловлена наличием в разрезе пластов амфибол-магнетитовых кварцитов. В 1972-1974 гг. Новомосковская ГРЭ проводила работы по оценке перспектив алмазоносности территории [3]. Это позволило детально оконтурить в плане два округлых тела диаметром 450-500 м в верховье р. Конки, из которых одно составлено монцонитом, второе – ультрабазитами. Были обнаружены также небольшие тела трахит и перидотитов. Аналогичные работы были проведены Приазовской ГРЭ на смежной площади, на площадях разбуренных магнитных аномалий в районе сёл Ивановка, Андреевка, Софиевка и др.

Важным этапом современных исследований стало проведение глубинного геологического картирования в 1977-1981 гг. в масштабе 1:50000. Была проведена оценка перспектив территории на поиски новых проявлений карбонатитов (типа Ново-Полтавка) и связанной с ними апатит-редкоземельной и редко метальной минерализации. Оценены перспективы территории на редкие металлы, золото, молибден, железо, вермикулит, тальк, строительные и облицовочные материалы.

Изученность докембрийских образований, которая бы отвечала современным требованиям к степени стратиграфического расчленения, структурности и, в конечном итоге, прогнозной оценки региона началась с переходом на качественно новый этап регионального геологического исследования докембрийских образований территории в 1980-х годах – до глубинного геологического картирования в М:1:200000 [4]. Одновременно с геолого-съемочными работами и глубинным геологическим картированием в это время был выполнен большой объем поисково-разведочных работ силами Приазовской и Новомосковского ГРЭ на различные виды полезных ископаемых. В результате этих работ открыт ряд месторождений и проявлений редкометальних пегматитов.

В 1992 Приазовская ГРЭ приступила к новому этапу изучения Западного Приазовья, и в 1996 году в пределах Бердянского листа были обнаружены трубка "Мечта" и ряд мелких лампроитовых тел, возраст которых установлен как нижний среднепротерозойский. Возраст флогопита из трубки "Мечта", определенный калий-аргоновым метосоставляет 1,97-1,95 млрд. лет И относится к палеопротерозою. дом. В переотложениях коры выветривания лампроитовых трубок и в аллювиальных отложениях обнаружены кристаллы алмазов размером 0,1-0,3 мм, полупрозрачные, желтой, желтовато-зеленой и серо-зеленой окрасок, высокой сохранности и с кристаллографической огранкой.

На основе полученных Приазовской экспедицией в 2000-2002 гг. положительных результатов по выявлению новых коренных источников алмазов в Приазовском мегаблоке, геологической службой Украины было принято решение продолжить поиски коренных источников алмазов в пределах всей его площади и дополнить комплекс работ отбором крупно- и среднеобъемных проб крупнозернистых фаций древних террас и аллювиальных отложений главных водотоков. В связи с этим возникла необходимость проведения более детальных геофизических съемок, по результатам которых ожидается обнаружение тел возможного кимберлитового магматизма, более детальное изучение разломной блоковой тектоники, выделение участков на поиски рудных полезных ископаемых.

Магнитное поле над породами толщи характеризуется повышенной напряженностью в пределах 500-1200 нТл. Гравитационное поле остаточных аномалий силы тяжести в пересчете на высоту 1,5 км меняется в пределах 0,25-0,5 мГал. Биотитовые плагиогнейсы являются самыми распространенными породами в разрезе толщи, мощность которой достигает 3,0 км. Плагиогнейсам Каинкулацкой толщи соответствует положительное магнитное поле интенсивностью 500-700 нТл, а кристаллосланцам, амфиболитам и слоям железистых кварцитов – линейные аномалии интенсивностью до 1000-2000 нТл. Последние выделены и в гравитационном поле с положительными аномалиями до 0,5-1,5 мГл. Магнитная восприимчивость гнейсов составляет 1126х4 π x10⁻⁶ ед. СИ, кристаллосланцев основного состава – 9126х4 π x10⁻⁶ ед. СИ, железистых кварцитов – 9200х4 π x10⁻⁶ ед. СИ, а плотность, соответственно, 2,68, 2,92 и 3,02 г/см³. В физических полях граниты Салтичанського комплекса проявляются отрицательными или низкими положительными значениями напряженности магнитного поля, -100 +100 нТл, и отрицательным остаточным гравитационным полем интенсивностью 0,25-1 мГал.



Рис. 1. Автокорреляционные фоны: в гравитационной (а) и магнитной (б) аномалиях

В настоящей работе использованы данные о геологическом строении района по материалам пояснительной записки к геологической карте М:1:200000 [5]. Для характеристики докембрийских образований использовалась хроностратиграфическая схема раннего докембрия Украинского щита [6]. Методика настоящей работы заключается в проведении расчленений пород и выделении разрывных нарушений и разломов [7]. За основу брались карты гравитационного и магнитного полей (карты остаточных аномалий) района изысканий, которые анализировались по следующим признакам: фоновые значения уровней гравитационного и магнитного полей, локальные аномалии гравитационного и магнитного полей обоих знаков, осевые линии разломов, в данном случае проходящих через центральную часть участка выделенной аномалии. Фоновые гравитационные и магнитные поля соответствуют линейным тектоническим и стратиграфическим контактам комплексов пород с различными физическими свойствами, в частности с местонахождениями разломов. Исходные поля (гравитационное и магнитное) импортировались в соответствующие секторы программы COSCAD, и затем была выполнена фильтрация данных с помощью автокорреляционной функции, пример которой показан на рис. 1.

Далее были сделаны классификации трех видов: по К-средним, по «Петрову»-1, и «Петрову»-2 [8]. Программа классификации по методу К-средних предназначена для классификации многомерных данных методом динамического сгущения, который предназначен для разбиения исследуемой территории на области, однородные по комплексу признаков. Наличие достоверной информации о значении центров классов повышает эффективность использования алгоритма. В программе классификации по «Петрову»-2, как и в К-средних, реализован алгоритм разделения смеси многомерных нормальных совокупностей, которые предназначены для разбиения территории на области, однородные по комплексу признаков. Программа осуществляет классификацию комплексных наблюдений по тому же алгоритму, что и предыдущая, но конечное число классов задается пользователем. Решение задачи конечного числа классов необходимо, когда число классов, полученных в результате автоматической классификации с неопределенным конечным числом классов, слишком велико. В результате работы программы формируется сеть, в которой содержатся результаты классификации – каждая точка сети характеризуется номером класса, к которому она относится (рис. 2).



Рис. 2. Карты аномалий, построенные по методам: «Петрову»-1 (а) и «Петрову»-2 (б) К-средним (в).

Все полученные результаты были экспортированы в виде GRD-файлов и в дальнейшем использовались в программе Surfer, с помощью которой сравнивались результаты интерпретации данных по трём классификациям. Опыт изысканий показал, что эти три программы эффективны для решения задач геологического картирования и районирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гойжевский А.А. L-37-I // Фонды ГП «Днепргеофизика». – Днепропетровск, 1957.

2. Кравченко Г.П. L-37-VII, VIII // Фонды ГП «Днепргеофизика». – Днепропетровск, 1962.

3. Фонды Новомосковской ГРЭ, 1972-1974.

4. Фонды Приазовской ГРЭ, 1980-1990.

5. Бородиня Б.В., Князькова И.Л., Чубар Ж.В, Иваненко Т.Я. Государственная геологическая карта Украины. М 1: 200 000. – Бердянск, Киев: Геоинформ, 2003.

6. Корреляционная хроностратиграфична схема раннего докембрия Украинского щита. – Киев: УкрДГРИ, 2004.

7. Усупов Ш.Н. Об опыте поиска и разведки кимберлитовых трубок геофизическими методами // Материалы докладов 6-ой международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», г. Бишкек. – Бишкек: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, НС РАН, 2014. – С. 149-150.

8. Коржин С.П. Программа COSCAD.

УДК 550.34

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ РАЙОНА АРКТИЧЕСКОГО ХРЕБТА ГАККЕЛЯ

Федоренко Ирина Валентиновна ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск fedorenko.irina.v@yandex.ru

Аннотация. Хребет Гаккеля является одним из сейсмически активных подводных хребтов Арктики. Предполагается, что его сейсмичность обусловлена, прежде всего, спредингом океанического дна, возможно наличие подводного вулканизма. В статье исследуются спектральновременные характеристики записей землетрясений из района хребта Гаккеля по данным станции ZFI2 Архангельской сейсмической сети, которые позволяют прояснить природу сейсмичности.

Ключевые слова: землетрясение, спрединг, вулканизм, сейсмическая станция, спектрально-временной анализ

Хребет Гаккеля, расположенный на границе Евразийской и Северо-Американской литосферных плит, является одним из сейсмически активных подводных хребтов Арктики. Считается, что его сейсмичность обусловлена, прежде всего, спредингом океанического дна, скорость которого составляет 0.9 до 1.1 см в год [4]. Однако, в 1999 г. во время научного рейса американской подводной лодки Hawkbill на хребте были обнаружены две вулканические области на участках хребта 84° и 92° в. д. Извержения в одной из них сопровождались большим количеством землетрясений [7]. В 2001 г. в результате международной экспедиции Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition (AMORE2001) на хребте были выделены три области различной природы: западная вулканическая зона (8° з. д. – 3° в. д.), амагматическая зона (3° в. д. – 30° в. д.) и восточная вулканическая зона (30° в. д. – 124° в. д.) [8]. Таким образом, сейсмичность хребта Гаккеля может быть обусловлена разными факторами.

Станциями Архангельской сейсмической сети (АСС), расположенными на архипелаге Земля Франца-Иосифа [9], регистрируется большое количество землетрясений из района хребта Гаккеля. Многие из них, имеющие небольшие магнитуды (MI<3), отсутствуют в международных сейсмологических каталогах, поэтому ранее не изучались. В данной работе рассматриваются динамические характеристики волновых форм землетрясений из этого района (спектрально-временной анализ), что может способствовать определению природы их возникновения. Ранее для землетрясений хребта Гаккеля, зарегистрированных станциями АСС, уже оценивались спектры мощности отдельно для Р и S волн 47 землетрясений за период с 16 октября 2012 г. по 19 апреля 2013 г. [11]. Было показано, что события подразделяются на две группы. В первой максимум энергии наблюдался в диапазоне 1-7 Гц, а затем происходил резкий спад. Во второй – энергия была распределена более равномерно по частотам. В данной работе исследуется запись в целом, без разделения на интервалы регистрации волн, что позволяет выявить особенности вариации частотного состава во времени.

Подбор методики обработки данных. Для были анализа отобраны 47 землетрясений за период с апреля по конец июля 2014 г., использовались волновые формы станции ZFI2, расположенной на архипелаге Земля Франца-Иосифа – из пункта наблюдений, наиболее близкого к хребту Гаккеля. Эпицентры землетрясений определялись по годографу Barents методом минимизации невязки времени в очаге по данным станций: АСС [10], сети норвежской сейсмологической службы NORSAR [5], Норвежской национальной сейсмической сети [6], Института геофизики Польской научной академии [1], а также сети IRIS (станция KBS) [2], либо, при наличии, были взяты из каталога ISC (International Seismological Centre) [3]. Для каждого события был проведен спектрально-временной анализ (СВАН) для трехкомпонентной записи с визуализацией в виде CBAH-диаграмм в программе Surfer 7.00. На сейсмических записях присутствует морская микросейсмическая компонента, т.к. наблюдения велись островной станцией, в связи с этим для выделения полезного сигнала на фоне помех был предварительно применен фильтр верхних частот с частотой среза 1.5 Гц. Длина каждой оконной функции составляла 256 точек. Перекрытие между окнами – 50%. Длина анализируемого временного интервала была выбрана около 8 минут при общей продолжительности землетрясений из исследуемого района около 2 минут.



Рис. 1. СВАН-диаграммы землетрясений из района хребта Гаккеля по записям сейсмической станции ZFI2: а – 23.04.2014 08:35:08; б – 16.06.2014 15:37:47

Расчеты показывают (рис. 1), что в рассматриваемой подборке землетрясений в диапазоне 1.5-20 Гц также выделяются две группы, подобные рассмотренным нами ранее, но просматриваются и новые черты различий. У одних событий максимум энергии наблюдается в диапазоне примерно 1.5-10 Гц, затем происходит резкий спад (рис. 1а), диапазон магнитуд Ml составляет от 2.50 до 5.29. У других энергия распределяется более равномерно по оси частот (рис. 1б), максимальная энергия событий меньше, диапазон магнитуд Ml – от 2.30 до 3.40. Кроме того, более «однородные» по диапазону энергий землетрясения второй группы характеризуются присутствием ярко выраженной высокочастотной составляющей. Также наблюдаются различия в соотношении амплитуд, а, следовательно, и энергий Р и S-волн. Полученный результат указывает на различие в механизме генерации волн разных типов, а, следовательно, природы сейсмических событий.

Для принятой выборки была построена карта расположения эпицентров (рис. 2), из которой видно, что эпицентры землетрясений, более слабых и имеющих более ши-

рокий спектральный состав (вторая группа), сосредотачиваются в амагматической зоне, выделенной в работе [8]. События первой группы распределены по хребту более равномерно.

Таким образом, можно предположить, что землетрясения, регистрируемые в районе хребта Гаккеля, имеют разный механизм генерации. Несомненно, требуются дополнительные исследования при увеличении объема выборки, привлечения представлений о спектральном составе различных по механизму очага событий, сравнения с экспериментами на образцах и пр. Тем не менее, показано, что проведение спектрально-временного анализа является эффективным инструментом изучения сейсмичности.



Рис. 2. Карта распределения эпицентров землетрясений из района хребта Гаккеля для выделенных групп событий в диапазонах 1.5-20 Гц и 1.5-10 Гц. Линиями показано разбиение на зоны из работы [8]: 1 – западную вулканическую, 2 – амагматическую, 3 – восточную вулканическую

Работа выполнена при частичной поддержке:

1) Минобрнауки России при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне Российской Федерации» (Соглашение о предоставлении субсидии от 20.10.2014 № 14.610.21.0006, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI61014X0006);

2) гранта РФФИ-север № 14-05-98801.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.igf.edu.pl/home.php (дата обращения: 22.01.2015).

2. IRIS DMC MetaData Aggregator. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iris.washington.edu/mda/IU (дата обращения: 21.01.2015).

3. ISC Bulletin: event catalogue search. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/ (дата обращения: 22.01.2015).

4. Michael J., et al. Magmatic and amagmatic seafloor generation at the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean // Nature. – 2003. – V. 423. – P. 956-961.

5. NORSAR seismic arrays. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.norsardata.no/NDC/stations/ (дата обращения: 23.01.2015).

6. The Norvegian National Seismic Network (NNSN). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geo.uib.no/epos-no/nnec/about-nnec-nnsn.html (дата обращения: 22.01.2015).

7. Tolstoy M., Bohnenstiehl D.R., Edwards M.H., Kurras G.J. Seismic character of volcanic activity at the ultraslow-spreading Gakkel Ridge // Geology. – 2001. – V. 29. – N 12. – P. 1139-1142.

8. Vera Schlindwein, Christian Muller, Wilfried Jokat. Microseismicity of the ultraslowspreading Gakkel ridge, Arctic Ocean: a pilot study // Geophys. J. Int. – Vol. 169. – 2007. – P. 100-112.

9. Антоновская Г.Н., Данилов К.Б., Конечная Я.В., Данилов А.В. Установка и первые результаты работы сейсмической станции ZFI на архипелаге Земля Франца-Иосифа // Физический вестник Института естественных наук и биомедицины САФУ. – Вып. 10. – 2011. – С. 31-38.

10. Архангельский сейсмологический стационар-обсерватория (АССО). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iepn.ru/?page=186 (дата обращения: 03.02.2015).

11. Федоренко И.В. Особенности спектров землетрясений района хребта Гаккеля // Материалы XV Уральской молодежной научной школы по геофизике. – Екатеринбург, 2014. – С. 229-231.

SPECTRAL FEACHURES OF EARTHQUAKES IN THE AREA OF ARCTIC GAKKEL RIDGE

Fedorenko Irina IEPN UB RAS fedorenko.irina.v@yandex.ru

Summary. Gakkel ridge is one of the seismically active underwater Arctic ridges. Its seismicity is supposed to be mainly caused by ocean-floor spreading. Occurrence of underwater volcanic activity is also possible there. Spectral-temporal characteristics of earthquake's waveforms from the area of Gakkel ridge are investigated in this article. Data of ZFI2 station of Arkhangelsk seismic network are used for it. This analysis can help us to understand reasons of its seismicity.

Key words: earthquake, spreading, volcanism, seismic station, spectral-temporal analysis

УДК 550.831 НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА СФЕРИЧНОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТАХ

Хохлова Валерия Васильевна ГИ УрО РАН, г. Пермь valxov@gmail.com

Аннотация. Теория интерпретации данных гравиразведки базируется на решении прямых и обратных задач гравиметрии в прямоугольных координатах XYZ при плоской границе «земля-воздух». Однако между плоской и сферической моделями Земли существует большая разница, прене-

брежение которой сказывается на последующей геологической интерпретации.

Ключевые слова: гравиразведка, редукция Буге, поправка за рельеф, учет сферичности Земли

При обработке полевых данных гравиразведки, как правило, в силу ограниченных размеров изучаемых площадей пренебрегают шарообразной формой Земли. Таким образом, вся теория интерпретации базируется на решении прямых и обратных задач гравиметрии в прямоугольных координатах XYZ при плоской границе «земля-воздух». Оценим различия в плоской и сферической моделях Земли на простом теоретическом примере.

Допустим, что Земля представляет собой шар радиусом R=6371 км. Площадь гравиметрических работ имеет размеры 200х200 км. В нижнем полупространстве располагаются 3 аномалиеобразующих объекта – шары диаметром 7, 8 и 10 км, с избыточной плотностью 0.2, 0.30, 0.25 г/см³, соответственно. Центры шаров в системе ΣXYZ имеют координаты x₁=-60 км, y₁=-70 км, z₁=-8 км,; x₂=5 км, y₂=5 км, z₂ = -12 км; x₃=70 км, y₃=70 км, z₃ = -10 км.

Максимальная амплитуда аномалии вертикальной составляющей силы тяжести V_z^{max} на горизонтальной плоскости z=0 составляет ~44.6 мГал. Представим, что на сферической Земле выполняются измерения радиальной составляющей силы притяжения V_R, при этом отсчет глубин возмущающих тел также проводится от поверхности наблюдений. Для моделирования используем сферическую систему координат $\sum r \phi \lambda$. На рисунке 1 представлена карта разности значений V_z и V_R, изменяющейся в диапа-

зоне 7.1 мГал (что составляет более 15% от V_z^{\max} . Очевидно, что изменения гравитационного поля для «плоской» и сферической моделей являются нелинейными и достаточно значительными, поэтому можно поставить вопрос о целесообразности их учета для материалов средне- и крупномасштабных гравиметрических съемок.



Рис. 1. Сравнение гравитационных аномалий, полученных в рамках плоской и сферической моделей Земли

Учет сферичности Земли при редуцировании гравиметрических данных заключается в вычислении влияния топографических масс, расположенных между гравиметрическим пунктом и сферической уровенной поверхностью. Как правило, это влияние раскладывается на две составляющих: поправка за промежуточный слой и поправка за влияние рельефа. Действующая "Инструкция по гравиразведке" [3] для получения аномалии в редукции Буге предписывает вычислять эти поправки, основываясь на плоской границе Земля-воздух. Т.е. поправка за промежуточный слой – это гравитационное влияние бесконечного плоскопараллельного слоя, а поправка за рельеф учитывает отклонения дневной поверхности от этого слоя. Такая модель не соответствует реальному распределению топографических масс вокруг гравиметрического пункта. В соответствии с этим зарубежные исследователи [8] для вычисления поправок за промежуточный слой и за влияние рельефа в отдаленных зонах (от 50 до 200 и более км) используют сферическую модель Земли, в частности в статье LaFeur [9] упоминается сферический сегмент.

Поправка за промежуточный слой тесно связана с поправкой за влияние рельефа, поэтому если используется сферический слой, то и рельеф необходимо учитывать для сферической Земли и с тем же размером области учета [4]. В данной статье автор предлагает алгоритм вычисления поправки за влияние рельефа с учетом сферичности Земли. Аналогично ранее созданному алгоритму [2, 6] для плоской модели Земли, с целью устранения расхождений между высотами цифровых моделей рельефа (картографические высоты) и высотами гравиметрических пунктов (топографические высоты) будет использовано построение аналитической аппроксимации рельефа земной поверхности, т.е. создание зависимости вида:

$$Z = F(\varphi, \lambda), \tag{1}$$

отражающей связь высот точек цифровой модели рельефа с их плановым положением. В качестве непрерывной функции, описывающей рельеф, можно использовать двойной ряд Фурье с ограниченным числом членов [2].

В предлагаемой технологии в качестве аппроксимирующего рельеф элемента используется сферический параллелепипед (рис. 2). Это тело, ограниченное координатными плоскостями φ_1 , φ_2 , λ_1 , λ_2 и r_1 , r_2 . В сферической системе координат радиальная составляющая V_R его гравитационного потенциала для точки R, φ_0, λ_0 на поверхности Земли определяется выражением:

$$V_R(R,\varphi_0,\lambda_0) = f\sigma \iiint_{r_1,\varphi_1,\lambda_1}^{r_2,\varphi_2,\lambda_2} (R - r\cos\omega) r_0^{-3} r^2 \sin\varphi dr d\varphi d\lambda$$
(2)

где $r_0 = \sqrt{R^2 + r^2 - 2Rrcos\omega}$, σ – плотность тела; r, φ, λ – переменные интегрирования, сферы между центре точками угол при Р И M: $cos\omega = cos\varphi_0 cos\varphi + sin\varphi_0 sin\varphi cos (\lambda_0 - \lambda)$. В аналитическом виде представить интеграл (2) невозможно, поэтому для расчета гравитационного эффекта в данном случае необходимо использование численных методов. С учетом требований В.Н. Страхова к точности, быстродействию и устойчивости алгоритмов решения прямых задач [7] и использованием вычислительных возможностей современных компьютеров была выполнена разработка программно-математического обеспечения для расчетов по формуле (2), основанного на адаптивных квадратурных алгоритмах, использующих метод Ньютона-Котеса [1]. Применялись составные формулы прямоугольников, трапеций и парабол (Симпсона). Наличие особенностей у функции (2) влечет за собой использование переменного шага интегрирования k, последовательно уменьшающегося в 2 раза. Число узлов интегрирования N изменялось в зависимости от модуля разности интегралов є = I(k)-I(k/2) и составляло 212-224. Существенно ускорить процесс вычислений позволяет однократное вычисление массива {соѕω} для аномалиеобразующего объекта и хранение его в RAM.



Рис. 2. Сферический параллелепипед

Для получения топографической поправки в точке P (R, ϕ_0 , λ_0) на поверхности Земли необходимо просуммировать эффекты сферических параллелепипедов, при этом в отличие от плоской модели, результативные значения могут быть как положительными, так и отрицательными (рис. 3).



Рис. 3. Положительные и отрицательные гравитационные эффекты рельефа (по Лукавченко П.И. [5])

В статье представлены основные элементы методики вычисления поправки за влияние рельефа с учетом сферичности Земли. В 2015 году планируется создание компьютерной технологии получения аномалии Буге в неполной топографической редукции, отвечающей современным представлениям о форме Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: Наука, 2000. – 622 с.

2. Долгаль А.С. Гравиразведка: способы учета влияния рельефа местности / А.С. Долгаль, В.И. Костицын // Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – С. 30-43.

3. Инструкция по гравиразведке. – М., Недра, 1980. – 80 с.

4. Каленицкий А.И. Методические рекомендации по учету влияния рельефа местности в гравиразведке. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1981. – 150 с.

5. Лукавченко П.И. Гравиметрическая разведка на нефть и газ / П.И. Лукавченко. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 336 с.

6. Симанов А.А. Учет влияния рельефа местности при высокоточной гравиметрической съемке на основе геоинформационных технологий / А.А. Симанов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала // Материалы региональной научно-практической конференции. – Пермь, 2008. – С. 220-223.

7. Страхов В.Н. О проблеме решения прямых задач гравиметрии и магнитометрии для материально стержня с полиномиальной плотностью // Геофизический журнал. – Т.7. – №5. – 1985. –С. 3-9.

8. Hinze W.J., Aiken C., Brozena J., Coakley B., Dater D., Flanagan G., Forsberg R., Hildenbrand T., G. Keller R., Kellogg J., Kucks R., Li X., Mainville A., Morin R., Pilkington M., Plouff D., Ravat D., Roman D., Urrutia-Fucugauchi J., Veronneau M., Webring M., Winester D. New standards for reducing gravity data: The North American gravity database / Geophysics. – V. 70, N. 4. – 2005. –P. J25-J32.

9. LaFehr T.R. An exact solution for the gravity curvature (Bullard B) correction / Geophysics. – vol.56, No.8. – 1991. – P. 1179-1184.

THE NEED TO INTEGRATE SPHERICITY OF THE EARTH IN LARGE SCALE GRAVIMETRIC OPERATIONS

Khokhlova Valeriya MI UB RAS valxov@gmail.com

Summary. Abstract. The theory of gravity data interpretation is based on the solution of direct and inverse problems of gravimetry in Cartesian coordinates XYZ at a flat interface "surface-to-air." However, between the plane and spherical model of the Earth, there is a great difference, the neglect of which affects the subsequent geological interpretation.

Key words: gravimetric, Bouguer reduction, terrain correction, accounting the sphericity of the Earth

УДК 532.54 ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТА

Хусаинов Исмагильян Гарифьянович

СФ БашГУ, г. Стерлитамак ivt30@mail.ru

Аннотация. Для определения гидродинамических параметров пласта предлагается использовать метод зондирования. В работе используются закон изменения массы жидкости, уравнение состояния газа, закон Дарси и уравнение пьезопроводности. Получено нелинейное интегральное уравнение, описывающее релаксацию давления в скважине в зависимости

от величины начального давления в скважине и гидродинамических параметров пласта. Выполнено численное исследование интегрального уравнения.

Ключевые слова: релаксация давления, проницаемость, пористость, пористая среда

Введение. Перспективным способом заметного повышения нефтеотдачи на вновь вводимых и уже разрабатываемых месторождениях является резкое повышение информативности об эксплуатируемом объекте и переход к повседневному активному контролю и управлению выработкой продуктивных горизонтов [1-5].

Одним из методов получения ценной информации о коллекторских свойствах пласта являются гидродинамические методы исследования (ГДИ) пласта. Наиболее распространенные технологии ГДИ – это снятие кривой восстановления давления на забое скважины, снятие кривой изменения дебита, снятие кривой изменения давления. Каждый из вышеперечисленных методов имеет свои недостатки и преимущества [6].

В данной работе предлагается новый экспресс-метод определения гидродинамических параметров пласта методом зондирования. Как известно, суть зондирования пласта сводится к возмущению стационарного состояния в пласте и изучению реакции пласта на это возмущение.

Постановка задачи. Рассматривается одиночная скважина в исходном состоянии (t < 0), давление жидкости во всем пористом пласте вокруг которой постоянно и равно p'_0 . В момент времени t = 0 давление в скважине мгновенно увеличивается до значения p_0 . При этом в скважину частично вводится газ. Далее за счет фильтрации жидкости через стенку скважины в окружающую пористую среду давление в ней постепенно уменьшается, в пределе стремясь к величине p'_0 . Для описания этого процесса принимаются следующие допущения: внутри скважины за все время протекания процесса остается неизменным.

С учетом принятых допущений, записываются основные уравнения: уравнение сохранения массы газожидкостной системы; уравнения состояния для жидкости и газа. Скорость фильтрации жидкости в окружающей скважину пористой среде определяется по закону Дарси. Давление жидкости в пористой среде описывается уравнением пьезо-проводности. Считается, что на границе «стенка скважины – пористая среда» давление непрерывно.

Получено нелинейное интегральное уравнение, описывающее релаксацию давления p в скважине в зависимости от величины начального давления p_0 в скважине и гидродинамических параметров пласта:

$$\alpha_{g0} \left(\left(\frac{p_0}{p} \right)^{1/\gamma} - 1 \right) - \frac{p - p_0}{\rho_{l0} C_l^2} \left(1 - \alpha_{g0} \left(\frac{p_0}{p} \right)^{1/\gamma} \right) = \frac{k}{a^2 \mu_l} \int_0^t \varphi\left(\frac{t - t'}{t_{al}} \right) (p(t') - p'_0) dt',$$

$$\varphi(S) = \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{\exp(-Sz^2)}{J_0^2(z) + Y_0^2(z)} \frac{dz}{z}.$$

Здесь α_{g0} и ρ_{l0} – объемная доля газа и плотность жидкости внутри скважины в начальный момент времени; a – радиус скважины; p'_0 – начальное давление в пласте вокруг полости; μ_l – динамический коэффициент вязкости жидкости; k – коэффициент проницаемости; C_l – скорость звука в жидкости; γ – показатель политропы;

 $J_{\theta}(z)$ – функция Бесселя первого рода порядка θ ; и $Y_{\theta}(z)$ – функция Бесселя второго рода порядка θ .

Построены графики зависимости давления от времени при различных параметрах, как пористой среды, так и скважины, которые затем используются при решении обратной задачи.

В работе получены зависимости времени релаксации давления в скважине от коэффициентов гидропроводности σ и пьезопроводности χ пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хафизов Р.М., Хусаинов И.Г., Шагапов В.Ш. Динамика восстановления давления в "вакуумированной" скважине // Прикладная математика и механика. – 2009. – Т. 73. № 4. – С. 615-621.

2. Хусаинов И.Г. Оценка качества перфорации скважины акустическим методом // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5 – С. 787; URL: http://www.science-education.ru/119-14505 (дата обращения: 09.09.2014).

3. Хусаинов И.Г. Тепловые процессы при акустическом воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду // Вестник Башкирского университета. – 2013. – Т. 18. № 2. – С. 350-353.

4. Хусаинов И.Г., Хусаинова Г.Я. Исследование параметров пласта методом опрессовки // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3 – С. 705; URL: http://www.science-education.ru/117-13813 (дата обращения: 04.07.2014).

5. Шагапов В.Ш., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой породой, при ее опрессовке введением газа // Прикладная механика и техническая физика. – 2006. – Т. 47. № 1 (275). – С. 109-118.

6. Шагапов В.Ш., Хусаинова Г.Я., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой горной породой // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38. – № 3. – С. 106-112.

HYDRODYNAMICAL METHODS OF RESEARCH OF THE LAYER

Khusainov Ismagilyan Garifyanovish CF BashGU, Sterlitamak ivt30@mail.ru

Abstract. For definition of hydrodynamical parameters of a layer it is offered to use a method of sounding. In paper the law of borehole of weight of liquid, the equation of a status of gas, use Darcy's law and the equation piezoconduction are used. The nonlinear integrated equation describing a relaxation of pressure in a chink depending on size of initial pressure in a chink and hydrodynamical parameters of a layer is received. Numerical research of the integrated equation is executed.

Key words: a relaxation of pressure, permeability, porosity

УДК 532.54 К ЗАДАЧЕ НАГРЕВА ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ АКУСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Хусаинова Гузалия Ядкаровна СФ БашГУ, г. Стерлитамак gkama@mail.ru

Аннотация. В работе исследовано акустическое воздествие на призабойную зону пласта. Решены волновые и температурые 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 возможностью регулирования подаваемой через скважину энергии волн акустического поля без экологического ущерба для окружающей среды и возможность достаточно простых технических решений. О широких возможностях 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:

$$\mu_T(x) = \mu_{\infty} + (\mu_o - \mu_{\infty}) \cdot e^{-a(T(x) - T_0)}, \qquad (1)$$

где T_0 – начальная температура жидкости насыщающей скелет пористой среды; T – температура жидкости; a – коэффициент, зависящий от свойства жидкости; μ_o – вяз-кость 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:

$$p = A_p \cdot \cos(\omega t), \ (x = 0, \ t > 0), \tag{2}$$

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:

$$p = 0, \quad x = l. \tag{3}$$

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:

$$Q = \frac{1}{\tau} \int_{0}^{\tau} \frac{\mu_T}{k} (\operatorname{Re}(u))^2 dt \,.$$
(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 решается 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 // Вестник Башкирского университета. – 2013. – Т. 18. № 2. – С. 350-353.

2. Хафизов Р.М., Хусаинов И.Г., Шагапов В.Ш. Динамика восстановления давления в "вакуумированной" скважине // Прикладная математика и механика. – 2009. – Т. 73. № 4. – С. 615-621.

3. Хусаинов И.Г. Оценка качества перфорации скважины акустическим методом // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.

4. Хусаинов И.Г., Хусаинова Г.Я. Исследование параметров пласта методом опрессовки // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 706.

5. Шагапов В.Ш., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой породой, при ее опрессовке введением газа // Прикладная механика и техническая физика. – 2006. – Т. 47. № 1 (275). – С. 109-118.

6. Шагапов В.Ш., Хусаинова Г.Я., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой горной породой // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38. № 3. – С. 106-112.

TO THE PROBLEM OF HEATING OF THE BOTTOMHOLE ZONE OF THE WELL ACOUSTIC INFLUENCE

Khusainova Guzalija Jadkarovna CF BashGU, Sterlitamak gkama@mail.ru

Abstract. The acoustic impact on bottomhole zone of layer is investigated in the article. Wave and temperature tasks are solved. Numerical experiment is executed at various values of parameters of system.

Keywords: acoustic influence, computing experiment, hydrodynamical parameters

УДК 532.546 ОЧИСТКА ПОРИСТОЙ СРЕДЫ 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 и т.д.). 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 (например, парафинов) на стенки поровых каналов. В большинстве случаев удаление этих отложений можно осуществить закачкой 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, например, при гидроразрыве). 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 вытеснениия 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 v и поэтому «живая» пористость составляет m' = (1 - v)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:

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = \chi_i \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n \frac{\partial p_i}{\partial r} \right), \ u_i = m_i \upsilon_i = -\frac{k_i}{\mu_i} \frac{\partial p_i}{\partial r}, \ \chi_i = \frac{k_i \rho_i C_i^2}{\mu_i m_i}, \tag{1}$$

 $m_1 = m, m_2 = m_3 = m' = m(1 - \nu), k_2 = k_3.$

Здесь p_i , v_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:

$$\rho_1 m_1 \left(\upsilon_1 - \frac{dr_{(12)}}{dt} \right) = \rho_2 m_2 \left(\upsilon_2 - \frac{dr_{(12)}}{dt} \right) - \rho_s m \nu \frac{dr_{(12)}}{dt} , (r = r_{(12)}),$$
(2)

где ρ_s – плотность твердой фазы. Запишем также уравнение сохранения массы растворителя на этой границе:

$$\rho_1 m_1 \left(\upsilon_1 - \frac{dr_{(12)}}{dt} \right) = (1 - g) \rho_2 m_2 \left(\upsilon_2 - \frac{dr_{(12)}}{dt} \right), (r = r_{(12)}),$$
(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:

$$\frac{k_1}{\mu_1}\frac{\partial p_1}{\partial r} = -m\frac{(1-g)\rho_s v + g\rho_1}{g\rho_1}\frac{dr_{(12)}}{dt}, \ \frac{k_2}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial r} = -m\frac{g\rho_2(1-v) + \rho_s v}{g\rho_2}\frac{dr_{(12)}}{dt}, (r=r_{(12)})$$
(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:

$$\frac{k_2}{\mu_2} \frac{\partial p_2}{\partial r} = \frac{k_3}{\mu_3} \frac{\partial p_3}{\partial r} = -m(1-\nu) \frac{dr_{(23)}}{dt}, \ (r = r_{(23)}).$$
(5)

При плоскодномерной схеме фильтрации эта задача имеет автомодельное решение.

$$\begin{split} p_{1} &= p_{e} + (p_{(12)} - p_{(e)}) \frac{\int_{\xi_{(12)}}^{\xi} \exp(-\frac{\xi'^{2}}{4}) d\xi'}{\int_{0}^{\xi_{(12)}} \exp(-\frac{\xi'^{2}}{4}) d\xi'}, \ (0 < \xi < \xi_{(12)}), \\ p_{2} &= p_{(12)} + (p_{(23)} - p_{(12)}) \frac{\int_{\xi_{(12)}}^{\xi} \exp(-\frac{\xi'^{2}}{4\eta_{2}}) d\xi'}{\int_{\xi_{(12)}}^{\xi} \exp(-\frac{\xi'^{2}}{4\eta_{2}}) d\xi'}, \ (\xi_{(12)} < \xi < \xi_{(23)}) \\ p_{3} &= p_{(23)} + (p_{(0)} - p_{(23)}) \frac{\int_{\xi_{(23)}}^{\xi} \exp(-\frac{\xi'^{2}}{4\eta_{3}}) d\xi'}{\int_{\xi_{(23)}}^{\infty} \exp(-\frac{\xi'^{2}}{4\eta_{3}}) d\xi'}, \ (\xi_{(12)} < \xi < \infty), \end{split}$$

Используя эти решения, на основе граничных условий (4) и (5) можно получить транцендентные уравнения для определения в автомодельных переменных координат границ $\xi_{(12)}$ и $\xi_{(23)}$ между зонами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шагапов В.Ш., Хусаинова Г.Я. Задача о закачке растворителя в пористую среду, подверженную «склерозу» // ИФЖ. – 2000. – №2.

2. Хусаинов И.Г. Тепловые процессы при акустическом воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду // Вестник Башкирского университета. – 2013. – Т. 18. – № 2. – С. 350-353.

CLEANING OF THE POROUS ENVIRONMENT BY SOLVENTS

Khusainova Guzalija Jadkarovna CF BashGU, Sterlitamak gkama@mail.ru

Abstract. The problem about pumping solvent in the porous environment littered due to adjournment of a firm phase (paraffins, bitumens, for example) is considered. Within the limits of the scheme plainly-one-dimensional filtrations are received the automodelling decisions describing distributions of pressure and speed.

Keywords: pumping, solvent, a filtration, the automodelling decision, the cleared zone.

УДК 550.34 КАМЧАТСКИЕ КРИВЫЕ СПАДА АМПЛИТУД КОДЫ: ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ МНОГОПОЛОСНОГО КОМПЛЕКТА КРИВЫХ И ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУД ОТ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ

Чебров Данила Викторович¹, Гусев Александр Александрович^{1,2} ¹КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский danila@emsd.ru ²ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский gusev@emsd.ru

Аннотация. В работе представлены предварительные результаты изучения формы коды камчатских землетрясений в различных частотных диапазонах. Обсуждаются вопросы методики производства замеров, алгоритмы и программное обеспечение, созданное для этой задачи. Отдельно обсуждается важный вопрос возможной зависимости формы и уровня сейсмической коды от эпицентрального расстояния.

Ключевые слова: сейсмическая кода, землетрясение, энергетическая классификация

Введение. Сейсмическая кода – это хвостовая часть сейсмограммы, состоящая из нерегулярных волн. Общепринято, что кода формируется в результате рассеяния прямых волн на многочисленных неоднородностях среды. При этом происходит эффективное осреднение диаграммы направленности источника и среды. Таким образом, кода представляет собой довольно устойчивый по амплитуде сигнал, к тому же, очевидно, зависящий от свойств среды [4, 5, 6]. Следствием этого механизма формирования нерегулярной части сейсмограммы также стало то, что разброс оценок при энергетической классификации землетрясений с использованием коды значительно меньше, чем при использовании прямых волн. Этот факт часто используется при создании региональных энергетических шкал. [1, 7].

В нашей работе представлена предварительная версия комплекта кривых формы коды для набора частотных полос. Диапазон периодов от 0.6 до 25 секунд перекрыт восемью 2/3-октавными полосами. Кривые демонстрируют частотную зависимость формы коды; они могут быть использованы как калибровочные для определения соответствующих магнитуд. В перспективе на этой основе для каждого землетрясения может быть найден набор его спектральных магнитуд.

Хорошо известно и нередко используется [1, 2, 4] такое свойство коды землетрясения, как постоянство ее формы для многих землетрясений и стабильность ее уровня для конкретного землетрясения в пределах обширных территорий. Эти свойства несколько искажаются за счет станционных эффектов («спектральных поправок»), но такие поправки устойчивы, их нетрудно найти и исключить. Однако, для некоторых регионов замечена зависимость от эпицентрального расстояния параметров коды одного и того же землетрясения на разных станциях [7]. Это явление, если оно существенно, может внести искажения в любые оценки, основанные на амплитудах коды, такие, как оценки нормализованных к коде амплитуд прямых волн, оценки кода-магнитуд или спектральных поправок. В работе проверялось наличие подобного явления для камчатских землетрясений. Методика производства замеров и алгоритмы для массовой обработки сейсмограмм. В нашей работе использовались сглаженные амплитудные огибающие сигнала, пропущенного через физически реализуемый фильтр Баттерворта 4-го порядка с шириной полосы пропускания 2/3 октавы. Землетрясения с соотношением сигнал/шум менее 3 для данной частотной полосы в окне обмера отбраковывались.

Перед началом обсуждения выбора окна обмера заметим, что ось времени для каждой сейсмограммы должна быть приведена ко времени в очаге T_0 .

Начало окна, в котором строилась огибающая, определялось с момента выхода ее на асимптоту. В работах [8, 9] показано, что в случае изотропного излучения из очага расчетная огибающая коды при $t_{cl} = 2t_S$ отличается от асимптоты лишь на 10%, а при $t_{cl} = 3t_S$ огибающая должна совпадать с асимптотой. Практические рекомендации [1], основанные на работе с реальными данными, для короткопериодного сигнала близки к оценкам Х. Сато. Однако, поскольку наше программное обеспечение, прежде всего, предназначено для массовой обработки сейсмических записей без контроля со стороны оператора, было принято более сильное требование к моменту начала окна $t_{cl} = 3t_S$. Это решение учитывало и тот известный факт, что в низкочастотной части исследуемого диапазона кода может достигать асимптоты несколько позже из-за существенного влияния на волновую картину поверхностных волн. Время окончания окна обмера, t_{c2} , определяется моментом, когда амплитуды записи достигают заданного порогового соотношения сигнал/шум. В данном случае мы также наложили достаточно жесткие требования к качеству сигнала, установив эту величину на уровень 3.



Рис. 1. Первый вариант серии кривых спада амплитуды кода-волн для набора частотных полос шириной 2/3 октавы для станции РЕТ Осевая частота полосы указана на графике. Привязка по оси ординат произвольная. Абсцисса – время, отсчитываемое от времени в очаге, ордината – логарифм среднеквадратической амплитуды.

Таким образом, для каждой частотной полосы по записи отдельного землетрясения в определенном временном окне получали наблюденную огибающую. Эти огибающие для каждой полосы осреднялись в логарифмической шкале методом совмещения. Соответствующие программные модули были разработаны совместимыми с системой данных БЛИЦ [3], доработанной для массовой обработки данных без участия оператора.

Предварительная версия кривых формы коды на разных частотах. Созданные алгоритмы были протестированы на записях станции РЕТ (Петропавловск). Было отобрано свыше 100 записей неглубоких близких землетрясений ($\Delta \leq 110$ км.). Все записи были визуально проверены на наличие сигнала и отсутствие явных дефектов записи.

Гребенка 2/3-октавных фильтров с центральными частотами 1.25, 0.8, 0.5, 0.32, 0.2, 0.126, 0.08, 0.05 Гц перекрывает диапазон периодов от 0.6 до 25 секунд.

Видно, что кривые ведут себя согласно известным теоретическим представлениям [4] (Рис. 1). Кривые для центральных частот 0.125, 0.8 и 0.05 Гц на данном этапе нельзя назвать достаточно надежными, что можно было ожидать исходя из особенностей землетрясений, попавших в обработку на данном этапе.

Зависимость формы коды от эпицентрального расстояния. Стабильность формы огибающих считается фундаментальным свойством сейсмической коды. Многие наблюдения подтверждают эту гипотезу. В частности, это свойство с успехом использовалось многими исследователями для построения шкал энергетической классификации землетрясений [1, 2, 4].

Однако, наблюдения в отдельных регионах дали возможность предположить, что форма и уровень коды отдельного землетрясения может зависеть от эпицентрального расстояния. Например, некоторые из результатов работы [7] наводят на мысль, что этот фактор иногда может быть весьма значимым, причем существенно отличаться для разных сейсмических станций. В данной работе форму коды изучали для перспективного использования в целях магнитудной классификации. Поэтому при исследовании кривых формы коды следовало непременно изучить такую возможность.

В данной работе предпринята попытка проверить, существует ли подобная зависимость для землетрясений и сейсмических станций Камчатки. Для этого использованы обширные данные, накопленные при многолетних расчетах энергетического класса по коде K_C . Класс по коде для камчатских землетрясений разработан в конце 1980-х, и с начала 1990-х рутинно определяется региональной сейсмической службой. Кроме данных после 1990 г, использованы материалы обмера более ранних землетрясений. Эти обмеры были проведены для построения шкалы K_C , а также получены в ходе систематического пересмотра материалов 1965–1989 гг., проведенного в группе сводной обработки КФ ГС.

Обмер амплитуд коды при определении K_C выполняется на реальных или эмулированных по данным цифровой регистрации записях короткопериодного регионального сейсмографа ВЭГИК. Эти записи имеют неширокую частотную полосу, с осевой частотой 0.7–1 Гц, и их изучение позволяет понять возможные проблемы, которых можно ожидать при использовании амплитуд коды для спектральной магнитудной классификации. В работе изучали зависимость от эпицентрального расстояния Δ величины $dK_C = [K_C^{sta} - K_C]$, где K_C^{sta} – индивидуальная станционная оценка класса по коде, а K_C – среднесетевая оценка, обе оценки для конкретного землетрясения. Если зависимость $dK_C(\Delta)$ имеет заметный тренд, это будет говорить о зависимости формы и (или) уровня коды индивидуальных землетрясений от эпицентрального расстояния. В качестве среднесетевой оценки K_C нами использовалась медианное значение набора станционных оценок.

Для анализа использовались землетрясения с классом $K_C \ge 9.5$. Также не вовлекались в обработку землетрясения, для которых имелось менее пяти индивидуальных станционных оценок класса K_C . Общий объем выборки, удовлетворяющей этим условиям, составил более 3300 землетрясений и более чем 28500 индивидуальных оценок класса. Общая картина распределения невязок dK_C в зависимости от эпицентрального расстояния приведена на Рис. 2а. Видно, что сильной зависимости для всего объема данных не наблюдается. Построенный формально методом наименьших квадратов тренд имеет наклон всего -0.017. Кроме того, построены подобные распределения для четырех десятилетних интервалов, начиная с 1970 года. Качественно картина не меняется, хотя формальный наклон тренда несколько варьирует, оставаясь достаточно пологим.

Кроме того, подобные зависимости были построены для отдельных сейсмических станций. Обнаружилось, что для заметной части станций зависимость формы коды от расстояния выражена слабо, подобно общей зависимости на Рис. 2а. Однако, в выборке имеются отдельные станции, невязки на которых имеют заметную зависимость от эпицентрального расстояния. В отдельных случаях вариации средней невязки достигают ± 0.2 лог.ед. Пример графика для подобной станции (AVH) приведен на Рис. 26.



Рис. 2. Распределение невязки индивидуальной оценки класса K_C в зависимости от эпицентрального расстояния: а) для всей выборки данных; б) пример относительно сильной зависимости от расстояния: станция AVH (влк. Авачинский)

Таким образом, можно полагать, что среднерегиональная форма коды вполне может быть использована как калибровочная кривая для определения соответствующей магнитуды. Однако для отдельных станций может оказаться целесообразным введение поправок, зависящих от эпицентрального расстояния. Данное явление следует учитывать и при использовании коды для нормализации амплитуд прямых волн в целях изучения затухания (Q).

Заключение. В работе, на примере записей станции Петропавловск, продемонстрирована работа набора алгоритмов для построения комплекта кривых спада уровня коды и показан предварительный вариант созданных кривых в диапазоне периодов [0.6-25] секунд. Проверена гипотеза стабильности формы коды. Оказалось, что для Камчатки, в целом, это предположение выполняется. Однако, обнаружены некоторые аномальные эффекты ограниченного масштаба, которые требуют дальнейшего изучения. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00621) в Камчатском филиале Геофизической службы РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лемзиков В.К., Гусев А.А. Энергетическая классификация близких камчатских землетрясений по уровню кода-волн // Вулканология и сейсмология. – 1989. – №4. – С. 83-97.

2. Нерсесов И.Л., Копничев Ю.Ф., Востриков Г.А. Магнитудная калибровка землетрясений по кода-волнам на расстояниях до 3000 км. // Докл. АН СССР. – 1975. – Т. 222. – №1. – С. 76-78.

3. Чебров Д.В., Гусев А.А. Автоматическое определение параметров цунамигенных землетрясений на Дальнем Востоке России в режиме реального времени: алгоритмы и программное обеспечение. // Сейсмические приборы. – 2010. – Т.46. – № 3. – С. 35-57.

4. Экспериментальные исследования сейсмической коды / Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С. и др. – М.: Наука, 1981. – 144 с.

5. Aki K. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves // J. Geophys. Res. – 1969. – V. 74. – P. 615-631.

6. Aki K., Chouet B. Origin of coda waves: source, attenuation and scattering effects // J. Geophys. Res. – 1975. – V. 80. – P. 3322-3342.

7. Mayeda K., Hofstetter A, O'Boyle J.L., Walter W.R. Stable and transportable regional magnitudes based on coda-derived moment-rate spectra // Bull. Seism. Soc. Am. – 2003. – V. 93. – N. 1. – P. 224-239.

8. Sato H. Energy propagation including scattering effects – single isotropic scattering approximation // J. Phys. Earth. – 1977. – V. 25. – P. 27-41.

9. Sato H. Signle isotropic scattering model including wave conversion-simple theoretical model of the short period body wave propagation // J. Phys. Earth. -1977. - V. 25. - P. 163-176.

CODA AMPLITUDE DECAY CURVES FOR KAMCHATKA: FIRST VERSION OF A MULTIBAND SET OF CURVES, AND CODA AMPLITUDE DEPENDENCE ON EPICENTRAL DISTANCE

Danila Chebrov¹, Alexander Gusev^{1,2} ¹Kamchatka Branch of GS RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky danila@emsd.ru ²Institute of Volcanology and Seismology of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky gusev@emsd.ru

Abstract. Preliminary results of the study of frequency dependent coda decay curves for earthquakes in Kamchatka region are shown in this paper. Technique of measurement, algorithms and software are discussed. Distance dependence of coda shape curves is also studied.

Key words: seismic coda, earthquake, energy classification

УДК 550.34 О МНОГОЛЕТНИХ СЕЙСМОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ НА ВЫСОКОСЕЙСМИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ ТАДЖИКИСТАНА

Шарипов Нусратилло Сайфиддинович ИГССС АН РТ, г. Душанбе nusrat88888@mail.ru

Аннотация. В работе описываются этапы организации и развития сейсмических и геофизических наблюдении на одной из высокосейсмичных территорий региона центральной Азии – Таджикистане. Указываются цели и задачи этих наблюдений, а также их конечные результаты, необходимые для определения и уточнения степени сейсмической опасности территории.

Ключевые слова. Сейсмический, геофизический, сейсмическая опасность, каталог землетрясений, сейсмостанции

Территория Таджикистана относится к одному из наиболее сейсмоактивных регионов Центральной Азии. Ее высокая сейсмичность связана с крайне сложной геолого-тектонической обстановкой. В пределах республики расположена высокосейсмичная зона контакта двух крупнейших горных сооружений Центральной Азии – Памира и Тянь-Шаня, и зона глубокофокусных Памиро-Гиндукушских (Афганистан) землетрясений с глубиной очага до 400 км. (рис. 1).



Рис. 1. Карта сейсмогенерирующие зон (зоны ВОЗ) территории Таджикистана

Следует отметить, что около 80% землетрясений различных энергетических классов (магнитуды) Центральной Азии происходит на территории Таджикистана [1].

Именно поэтому на разных этапах развития сейсмологических исследований с целью детального изучения сейсмичности территории развивалась сеть сейсмогеофизических наблюдений республики.

Первая сейсмическая станция в Таджикистане была организована в 1940 г. в столице республики г. Душанбе. В 1946 г. открыта сейсмостанция в Обигарме (восток), в 1947 г. – Мургабе (Памир), в 1948 г. начались регулярные наблюдения на станции в г. Кулябе (юг), в 1949 г. открыта сейсмическая станция в Гарме (восток), в 1950 г. – в г. Хороге (Памир) и в 1951 г. – в Джиргитале (восток). В результате к 1952 г. в Таджикистане была создана общая опорная сеть региональных сейсмических станций.

В дальнейшем в Таджикистане в связи с планированием и строительством крупных гидротехнических сооружений и ряда промышленных объектов открывались новые сейсмические станции. Таким образом, к 1992 г. на территории Таджикистана функционировали 47 аналоговых сейсмических станций (рис. 2).



Рис. 2. Карта сети сейсмических станций на территории Республики Таджикистан

За указанный период с целью изучения сейсмотектонических процессов и поиска предвестников сильных землетрясений на территории республики Таджикистан функционировали 7 геофизических (наклономерно-деформографические), 7 геомагнитных и 4 сейсмогеохимических станции.

Начиная с 1975 г., на территории Таджикистана была создана сеть станций службы сильных движений, которая состоит из сети сейсмических станций на грунте и сети инженерно-сейсмометрических станций на зданиях и сооружениях. Основной целью этой службы является накопление информации о колебаниях грунта, зданий и сооружений при сильных землетрясениях и её использование для решения практических задач по обеспечению сейсмостойкости зданий и сооружений.

Учитывая высокую сейсмичность территории Таджикистана, в 1979 г. в г. Душанбе был создан Региональный Центр прогноза землетрясений Средней Азии и Казахстана, который функционировал до 1992 г. Центром издавались известные в мировой сейсмологической науке научные журналы «Прогноз землетрясений» и «Землетрясения Средней Азии и Казахстана», а также составлялись каталоги землетрясений Средней Азии и казахстана и каталоги механизмов очагов землетрясений.

В настоящее время на территории Таджикистана функционируют 17 аналоговых и 8 цифровых (совместно с Геофизической службой АНРТ) сейсмических станций, 3 геофизических, 4 сейсмогеохимических станций и 20 станций сети службы сильных движений.

В районах расположения действующих крупных гидроэлектрических станций Нурек и Сарбанд и будущей Рогунской ГЭС установлены цифровые сейсмические станции для локального наблюдения за сейсмическим режимом этих территорий. На нескольких пунктах сейсмических наблюдений, согласно Проекта о сотрудничестве с Центром изучения земли CAREMONGFZ (Потсдам, Германия), установлены цифровые станции для изучения земной коры Таджикистана.

По результатам сейсмогеофизического мониторинга составляются каталоги землетрясений Таджикистана и приграничных территорий. Научная информации\ о сейсмичности Таджикистана публикуется в сборнике «Землетрясения Северной Евразии» геофизической службы Российской Академии наук [2].

Каталоги землетрясений используются при решении важнейших сейсмологических задач: составление и уточнение карт общего сейсмического районирования, карт детального и микрорайонирования, а также при оценке сейсмического риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирзоев К.М. Основные характерные черты сейсмичности Таджикистана // Прогноз землетрясений. – №1. – Душанбе: Дониш, 1982. – С. 14-37.

2. Саломов Н.Г., Улубиева Т.Р., Рислинг Л.И., Шакирджанова Г.Н., Джураев Р.У. Таджикистан за 1993-1995г. // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М: ГС РАН, 2001. – С. 49-58.

ABOUT MULTI-YEAR SEISMOGEOPHYSICAL FIELD OBSERVATIONS AT HIGH SEISMICITY TERRITORY OF TAJIKISTAN

Sharipov Nusratillo Sayfiddinovich

IGSSS Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe nusrat88888@mail.ru

Abstract. The paper describes the stages of organization and development of seismic and geophysical observations on one of high seismicity territories in Central Asia – Tajikistan. Goals and objectives of these observations, as well as their outcomes needed to define and clarify the degree of seismic hazard area are specified.

Keywords. Seismic, geophysical, seismic hazard, earthquakes catalog, seismic stations

УДК 550.35.521.9 УЧЕТ ПОПРАВОК В МЕТОДЕ ГАММА-КАРОТАЖА В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Яхина Ирина Айратовна, Султанов Вильдан Фангарович ООО НПФ «ВНИИГИС-3ТК», г. Октябрьский vahina-gfs@yandex.ru, 79373534347@yandex.com

Аннотация. Современные методы бурения горизонтальных и боковых стволов невозможны без применения телеметрических систем, предоставляющих как технологические, так и геофизические данные и позволяющих обеспечивать точную проводку скважины в проектное местоположение. Каротаж естественной гамма активности пород входит в стандартный комплекс каротажа на кабеле и каротажа, проводимого в процессе бурения, и позволяет оперативно контролировать процесс проводки скважины, ориентировать ее в пространстве, отбивать кровлю и четко фиксировать вход в продуктивный пласт.

Ключевые слова: каротаж в процессе бурения, телесистема, гаммаизлучение, горизонтальная скважина

В настоящее время широко применяется аппаратура и технологии (LWD, MWD), позволяющие контролировать, качественно управлять процессом бурения. Одним из способов, при котором добыча углеводородов эффективна, является бурение стволов с горизонтальным окончанием боковых стволов. Особую роль в достижении положительного результата играет применение забойных телеметрических систем с сопровождением технологических (инклинометрия, затрубное давление, температура, вибрации, осевая нагрузка, обороты долота и др.), а также геофизических параметров (ГК, КС, ИК, ННК, АК). Бурение горизонтальных скважин и боковых стволов с применением забойных телеметрических систем имеет целью увеличение объема добычи углеводородного сырья за счет получения возможности разработки трудноизвлекаемых запасов. На данный момент существует большое множество телесистем со своими достоинствами и недостатками, возможностями и ограничениями. Это позволяет классифицировать их по разным признакам и определять перспективы дальнейшего развития. К основным задачам, которые должна решать телесистема, относятся получение навигационных и прочих данных и передача их на поверхность, как в режиме реального времени, так и с использованием периодически считываемых запоминающих устройств.

Благодаря геофизическим параметрам, поступающим в процессе бурения, существует возможность пространственного ориентирования ствола скважины относительно геологических тел (пластов, пропластков и т.д.). Метод измерения естественной радиоактивности горных пород в разрезах относится к основным исследованиям, которые проводятся во всех поисковых, разведочных и эксплуатационных скважинах в открытом стволе. Принцип гамма-каротажа (ГК) основан на регистрации скважинными приборами естественной радиоактивности горных пород, слагающих разрез скважины. В общем случае кривая ГК характеризует разрез скважины от величины глинистости горных пород, что облегчает выделение глинистой покрышки нефтяных коллекторов, поскольку глины характеризуются повышенным содержание радиоактивных элементов – изотопов U, Th, K.

Применяемые современные телеметрические системы (3TC-42-ЭМ и 3TC-42-КК, разработка ООО НПФ «ВНИИГИС-3TК» г. Октябрьский, РБ), имеют возможность предоставления в режиме реального времени технологических, геофизических параметров. В состав телесистемы включается, в том числе, модуль гамма-каротажа (МГК), который устанавливается над забойным двигателем в диамагнитную трубу (НУБТ) (рис. 1). Телесистемы также приспособлены к использованию в компоновке низа бурильной колонны автономного устройства – наддолотного модуля (НДМ), который устанавливается непосредственно над долотом, что позволяет сократить расстояния непромера. Наддолотный модуль также оснащен счетчиками гамма-квантов, которые имеют пространственно ориентированное расположение, с возможностью точного определения кровли (подошвы) продуктивного горизонта [3].



Рис. 1. Компоновка низа бурильной колонны с телесистемой ЗТС-42-ЭМ и наддолотным модулем (НДМ)

При взаимодействии γ -квантов с веществом интенсивность излучения уменьшается. Данный факт является причиной расхождения кривых ГК от НДМ и МГК, что является недопустимым при оценке качества диаграмм. В методе ГК, как и в любом другом геофизическом методе, существуют факторы, оказывающие негативное влияние на запись кривой каротажа: буровой раствор, диаметр скважины и т.д. Помимо прочего, в процессе бурения существенное влияние на количественное определение гамма активности пород при использовании модуля гамма-каротажа оказывает немагнитная труба (НУБТ), в которой находится модуль ГК. Толщина стенки НУБТ может варьироваться от 1 до 4 см, что существенно ослабляет γ -излучение от источника. Поэтому при использовании в компоновке толстостенной НУБТ (178*80 – внешний и внутренний диаметр соответственно) показания ГК, полученные от прибора, существенно занижаются и не соответствуют реальным значениям гамма-активности горных пород в околоскважинном пространстве (рис. 2а).

Для установления максимально верного коэффициента ослабления были проведены численные расчеты и экспериментальные работы на базе специализированного метрологического центра. В радиометрии существует понятие взаимодействия γизлучения с электронами и атомами ядра. В результате этого взаимодействия, γ-квант теряет либо всю свою энергию (фотопоглощение), либо ее значительную часть (комптоновское рассеяние, образование электрон-позитронных пар). По результатам экспериментальных работ установлено, что поток γ-квантов (интенсивность излучения *I*, измеряемая в имп/мин), проходящий через вещество, ослабляется по экспоненциальному

(1)

закону. Проведенные опытные испытания были сопоставлены с теоретическими расчетами. Зависимость, определяющая уменьшение интенсивности γ-квантов после их прохождения через слой поглотителя, выглядит следующим образом [1]:

$$I(x) = I_0 e^{-ux}$$

где I_0 – интенсивность γ -квантов, направленных нормально к поверхности некоторого поглотителя, -ux – линейный коэффициент ослабления γ -квантов для определенной среды с толщиной x. Поправочный коэффициент ослабления γ -квантов при прохождении через НУБТ можно рассчитать через массовый коэффициент ослабления гаммалучей с учетом толщины стенки трубы и состава материала, из которого изготовлена диамагнитная труба. Полученные для соответствующего типоразмера НУБТ поправочные коэффициенты были заложены в рабочую программу, где корректировка записи ГК с учетом НУБТ осуществлялась в автоматическом режиме. Результаты корреляции записи гамма-каротажа от модуля МГК с учетом поправочного коэффициента и от модуля НДМ представлены на рис. 26.



Рис. 2. Гамма-каротаж, записанный телесистемой ЗТС-42 КК совместно с наддолотным модулем (НДМ)

Таким образом, в результате экспериментальных исследований удалось учесть влияние немагнитной трубы при прохождении через нее у-квантов. Это позволяет качественно интерпретировать полученные данные, которые подтверждаются двумя модулями (ГК от ЗТС и ГК от НДМ) одной забойной телеметрической системы. Повышенными значениями по ГК (см. рис. 2а) четко отбиваются кыновские глины нижнефранского яруса верхнего девона, которые являются глинистой покрышкой продуктивного пласта – пашийского горизонта.

Аналогичным образом по (1) осуществляется учет зоны фильтрации бурового раствора. При этом массовый коэффициент ослабления подбирается в соответствии с типом промывочной жидкости – бурового раствора, и рассчитывается параметр *x* (1), как разность между диаметром долота (диаметром скважины) и диаметром зондового

устройства. На рис. 3 представлены диаграммы ГК, записанные в процессе бурения, и показаны последовательные итерации – пересчитанные значения с учетом поправок за влияние НУБТ (ГК2, см. рис. 3) и зоны фильтрации бурового раствора (ГК3, см. рис. 3). Для контроля сходимости результатов приведены также данные ГК окончательного каротажа.



Рис. 3. Результаты записи гамма-каротажа в процессе бурения с учетом поправок в сопоставлении с окончательным каротажом

ГК не является количественным методом определения тех или иных характеристик пластов, а лишь отражает общие закономерности изменения горных пород по их естественной гамма-активности. Обычно, при интерпретации данных используют двойной разностный параметр [2], определяющий степень глинистости пород в разрезе. Однако, в процессе бурения при каротаже отсутствует время на постобработку данных, поэтому необходимо уже в процессе записи иметь возможность учета в автоматическом режиме всех возможных поправок.

Радиоактивный распад, процесс которого сопровождается испусканием гаммаквантов, имеет вероятностный характер и может быть описан численными методами решения математических задач при помощи случайных величин [4]. Также, процесс регистрации скорости счета гамма-квантов сопровождается значительными флуктуациями и имеет статистический характер, следовательно, калибровку аппаратуры необходимо производить с учетом четкого выбора критерия допустимых погрешностей счета (статистической погрешности, среднеквадратического отклонения). Так как гаммакаротаж в процессе бурения проводится с относительно низкой, в сравнении с каротажом на кабеле, скоростью, и прибор сравнительно долго находится против исследуемых пластов, статистические вариации оказываются минимальными. Основные решаемые по ГК задачи при направленном бурении – отбивка кровли продуктивного пластаколлектора и контроль траектории скважины при проходке по горизонтальной части нефтенасыщенного интервала, чтобы контролировать проходку и исключить попадание ствола скважины в глинизированную часть. Именно для решения задач геонавигации вполне достаточным является, не вдаваясь в сложности учета спектрального состава горных пород и методы статистического учета, контроль и учет поправок, связанных с влиянием бурильной колонны и зоны фильтрации бурового раствора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возженников Г.С., Белышев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. – С. 118-121.

2. Итенберг С.С. Интерпретация результатов каротажа скважин. – М.: «Недра», 1978. – С. 389.

3. Опыт эксплуатации наддолотных модулей при бурении скважин / В.П. Чупров [и др.] // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд. АИС, 2011. – № 203. – С. 16-26.

4. Соболь И.М. Численные методы Монте-Карло. – Главная редакция физикоматематической литературы изд-ва «Наука», 1973. – С. 312.

AMENDMENTS TO THE GAMMA METHOD LWD

Yakhina Irina Ayratovna, Sultanov Vildan Fangarovich NPF "VNIIGIS-ZTK" Yahina-gfs@yandex.ru, 79373534347@yandex.com

Abstract. Modern methods of drilling horizontal and sidetracks are impossible without the use of telemetry systems that provide both technological and geophysical data ensure for accurate hole making in the project location. Natural gamma logging activity breeds included in the standard complex of wireline logging and logging-while-drilling conducted and allows you to quickly control the process of hole drilling and orient it in space, accurately beat the roof to fix going into the reservoir.

Key words. LWD, telemetry system, gamma rays, laterally drilling

лекции

УДК 550.334 СВЯЗЬ ИЗЛУЧЕННОЙ ЭНЕРГИИ С МАСШТАБОМ И ГЕНЕЗИСОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Кочарян Геворг Грантович ИДГ РАН, г. Москва gevorgkidg@mail.ru

Аннотация. Показано, что такие факторы, как масштаб землетрясения и его механизм определяют общие тенденции изменения эффективности излучения. Макроскопическим параметром, контролирующим эффективность сейсмического источника, является жесткость разлома или трещины. Закономерности изменения этого параметра с масштабом определяют несколько иерархических уровней, внутри которых изменение характеристик землетрясений происходит по разным законам. Небольшие вариации физико-механических характеристик центральной части разлома могут приводить к радикальным отличиям как в амплитуде сброшенного напряжения, так и в скорости распространения разрыва вплоть до формирования различных режимов деформирования.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая энергия, сейсмический момент, излучательная эффективность.

введение

Соотношение параметров землетрясений разного масштаба до сих пор остается одной из нерешенных проблем сейсмологии. Доминирующей гипотезой до последнего времени являлось предположение о самоподобии процессов в очаге землетрясения, ведущее к идентичности приведенных характеристик событий разного масштаба. Необходимым условием подобия является выполнение предположения об одной и той же физике процессов, происходящих в очагах событий, сильно различающихся по энергии.

Появление цифровой широкополосной аппаратуры дало возможность уверенной регистрации колебаний, возбуждаемых как микроземлетрясениями с магнитудой от M_w =-4, так и мегасобытиями планетарного масштаба; так что гипотеза самоподобия в последние 15–20 лет подвергается более тщательной проверке, чем когда-либо прежде.

В ряде публикаций предположение о самоподобии сейсмического процесса подверглось критике. (См. краткий обзор проблемы, например, в [1]). Экспериментальные данные, приведенные, например, в работах [2,3], свидетельствуют о более быстром росте величины излученной энергии по сравнению с сейсмическим моментом. В тоже время, многие авторы поддерживают гипотезу подобия, приписывая эффекты значительных вариаций приведенной энергии и кажущегося напряжения ошибкам эксперимента. При этом отмечается систематическое влияние напряженно-деформированного состояния (фокального механизма), структуры разломной зоны, глубины расположения очага на эти параметры.

В настоящей работе мы собрали и проанализировали сведения более чем о 1500 землетрясениях разного масштаба и генезиза. Целью анализа являлась попытка обнаружить физически ясные причины, приводящие к отклонениям от законов подобия, и оценить значимость этих отклонений.

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Исследуя масштабные соотношения для землетрясений, чаще всего рассматривают две базовые характеристики, определяемые по результатам инструментальных наблюдений, — сейсмический момент (M_0) и сейсмическую энергию (E_s) . В качестве характеристики, применяемой для сопоставления событий различного масштаба, используется приведенная сейсмическая энергия:

 $e = E_s / M_0 \tag{1}$

Из известного решения задачи о дислокации в упругой среде следует, что скачок напряжений $\Delta \sigma_s$ при смещении по круговому разрыву пропорционален амплитуде смещения и обратно пропорционален радиусу Λ разрыва, т.е. при условии выполнения предположения подобия величина $\Delta \sigma_s$ не зависит от масштаба землетрясения. В предположении постоянства скачка касательных напряжений $\Delta \overline{\sigma}_s$, усредненных по всей площади плоскости разлома, и допущении пропорционального изменения с масштабом землетрясения длины L и ширины W очага все линейные размеры Λ задачи нормируются на корень кубический из сейсмического момента, что означает геометрическое подобие процесса.

Соответственно,

$$M_0 \sim \Lambda^3 \Delta \overline{\sigma}_s \sim S^{3/2} \Delta \overline{\sigma}_s \tag{2}$$

Это соотношение справедливо только для небольших землетрясений, линейный размер которых не превышает половины глубины сейсмогенного слоя h_0 [4]. Как известно, для крупных коровых землетрясений соотношение L/W сильно отличается от единицы и может изменяться в широких пределах. Поэтому масштабное соотношение $M_0 \sim L^3$ для таких событий нарушается. Как показано в [4], в этом случае $M_0 \sim L^2$. Величина сейсмического момента измеряется достаточно надежно и расхождение значений, определенных разными авторами, редко превышает 2-3 раза. Иная ситуация с величиной сейсмической энергии, пределы вариации которой для одного и того же события значительно больше и достигают порядка и более.

Баланс энергии в процессе разломообразования может быть рассмотрен в упрощенном виде следующим образом. Энергия E_s , излученная при образовании подвижки в однородном бесконечном пространстве, есть разность между изменением упругой энергии ΔE_e и энергией диссипированной в ходе разломообразования ΔE_{diss}

$$E_s = \Delta E_e - \Delta E_{diss} \tag{3}$$

Полагая, что перемещение происходит по плоскому однородному разрыву площадью S, напряжения на котором одинаковы, изменение упругой энергии есть

$$\Delta E_e = S \cdot \Delta \overline{u} \cdot \overline{\sigma} = M_0 \frac{\overline{\sigma}}{\mu} \approx M_0 \frac{\sigma_p + \sigma_d}{2\mu}$$
(4)

где σ_p и σ_d есть начальное и конечное значения напряжений на плоскости разлома, соответствующие пределу прочности и величине динамического трения, соответственно, а Δu – среднее смещение по разрыву.

Будем считать, что динамический процесс, в ходе которого происходит излучение, заканчивается после смещения D_{tot} .

Полная диссипированная энергия складывается из энергии, идущей на разрушение ΔE_{g} , и работы, совершенной на плоскости разлома в ходе подвижки ΔE_{f} :

$$\Delta E_f + \Delta E_G = S \cdot \int_0^{D_{tot}} \sigma_f(u) du = \overline{\sigma}_f D_{tot} \cdot S$$
(5)

где u – перемещение вдоль плоскости разлома, а $\overline{\sigma}_f = \frac{1}{D_{tot}} \int_{0}^{D_{tot}} \sigma(u) du$ - среднее сопро-

тивление сдвигу. Соотношение между ΔE_{g} и ΔE_{f} зависит и от закономерности снижения сопротивления сдвигу в процессе скольжения по разлому. В идеализированном случае, когда трещина распространяется без потерь на разрушение, напряжения на поверхности разлома изменяются скачком от σ_{p} до σ_{d} , а вся диссипированная энергия переходит в тепло.

Баланс энергии на единицу площади разрыва схематично показан на рис.1. На этой схеме изменение внутренней энергии (4) является площадью под трапецией ABCD, в предположении, что $\Delta \bar{u} \cong D_{tot}$.

Полная диссипированная энергия (5) представляет собой площадь под жирной кривой, обозначенной как $\sigma_f(u)$. Для простоты можно положить, что напряжение на разломе спадает линейно с увеличением амплитуды перемещения (пунктир на рис. 1). Для этого случая диссипированная энергия показана заштрихованной областью, а излученная сейсмическая энергия представляет собой треугольник, залитый точками.



Рис. 1. Баланс энергии при образовании разрыва

В линейном приближении постоянства жесткостей разлома и вмещающего массива, перемещения D и D_c связаны со скачком напряжений $\Delta \sigma = \sigma_p - \sigma_d$ соотношениями:

$$D_{tot} = \frac{\Delta\sigma}{k_{\rm m}}; \ D_c = \frac{\Delta\sigma}{k_{\rm s}}$$
(6)

где k_m — жесткость нагружения массива, окружающего разлом, а $k_s = \frac{d\sigma}{du}$ — сдвиговая

жесткость разгрузки разломной зоны.

Таким образом, из рассмотрения баланса энергии при разломообразовании можно заключить, что доля энергии деформирования, идущая на излучение сейсмической волны, в значительной степени определяется соотношением между жесткостями разломной зоны и вмещающего массива. Величину k_m можно оценить, как

$$k_m = \mu / \lambda \tag{7}$$
где μ – модуль сдвига окружающего массива, а λ — расстояние между соседними разломами одного ранга. Для крупных разломов $\lambda \approx (0,25-0,33)L$, где L — длина разлома

[5]. Хотя для мелких трещин параметр λ может изменяться в более широких пределах; для сейсмогенных глубин, где обычно предполагается примерно постоянное значение модуля сдвига, можно ожидать линейное снижение величины k_m с ростом характерного размера задачи.

Как следует из экспериментальных данных, жесткость разгрузки разломной зоны k_s снижается с ростом масштаба гораздо более медленно $k_s \sim L^{-0.3 \div 0.4}$ [1], что, как будет показано ниже, может оказаться причиной зависимости величины приведенной сейсмической энергии от масштаба землетрясения.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Мы привлекли для анализа большой объем данных – около 1500 событий в диапазоне моментных магнитуд от M_w =-3.5 до M_w =9.2. Для крупных землетрясений с $M_0 > 10^{11}$ - 10^{12} Н м скалярный сейсмический мо-

Для крупных землетрясений с $M_0 > 10^{11} - 10^{12}$ Н м скалярный сейсмический момент определялся по Гарвардскому мировому каталогу сейсмических моментов (*www.globalcmt.org*), а величина сейсмической энергии, как правило, по данным каталога NEIC Геологической службы США (*neic.usgs.gov*). Мы ограничили анализ землетрясениями, очаг которых располагался на глубине не более 50 км.



Рис. 2. Зависимость сейсмической энергии от величины сейсмического момента. N = 1308 событий. Разными значками показаны данные из разных источников, ссылки на которые приведены в работе [1]. Сплошная жирная линия – соотношение (8), тонкими линиями показаны границы доверительного интервала 95%. Пунктирными линиями показаны примеры регрессий для отдельных подмножеств данных.

При исследовании параметров слабой и региональной сейсмичности использовались только те литературные источники, в которых величина M_0 рассчитывалась по низкочастотной части спектра, а сейсмическая энергия определялась интегрированием волновых форм или их спектров. Такие данные стали активно появляться в последние

(8)

годы по мере развития цифровых методов регистрации и обработки. В тех случаях, когда это не было сделано авторами, нами учитывался эффект влияния ограниченной полосы регистрирующей аппаратуры методом, предложенным в [6].

Весь набор данных приведен на рис.2 и наилучшим образом описывается регрессионной зависимостью:

$$E_{\rm s} = 2.33 \cdot 10^{-6} \cdot M_0^{1.04}$$

Это означает, что усреднение по всему исследуемому диапазону дает зависимость, очень близкую к закону геометрического подобия.

Наилучшим образом соотношения подобия выполняются для землетрясений среднего масштаба. В этом диапазоне $3.9 < M_w < 7.3$ все регрессионные зависимости для отдельных рядов данных очень близки к пропорциональной зависимости.

Для самых крупных событий с $M_w > 7.3$ наблюдается постепенное замедление скорости роста излучаемой энергии с масштабом $E_s \sim M_0^{0.8}$. Для слабой сейсмичности наклон регрессионных зависимостей, проведенных отдельно для каждого подмножества данных, в большинстве случаев сильно отличается от единицы. Так, например, быстрое увеличение энергии с масштабом события наблюдалось при регистрации сейсмичности, индуцированной ведением горных работ на Североуральском бокситовом руднике $E_s \sim M_0^{1.7-1.9}$ [2]. Столь же сильная зависимость $E_s \sim M_0^{1.63}$ была установлена для сейсмичности, наведенной заполнением водохранилища в Китае (1616 землетрясений в диапазоне магнитуд $M_L (0.1 \div 4.2)$ [3].

Если для техногенной сейсмичности в большинстве случаев наблюдаются очевидные отклонения от пропорциональной связи сейсмической энергии и сейсмического момента (одно из немногих исключений составляет исследование событий, зарегистрированных в диапазоне магнитуд -4.1<M_w<-0.8, на глубинах около 3500 м в Южной Африке [7]), то авторы ряда исследований последовательностей слабых природных землетрясений склоняются скорее к соотношению $E_s \sim M_0$.

При изменении величины сейсмического момента на 20 порядков, подавляющее большинство значений приведенной сейсмической энергии параметра *е* лежит в пределах $10^{-6} - 10^{-3}$, а среднее значение составляет $e = 2.82 \cdot 10^{-5}$. Вариация приведенной энергии при одном и том же значении сейсмического момента составляет величину около 3-х порядков.

При проведении анализа данных следует оценить неопределенность, вносимую недостаточно точными измерениями. При оценке величины E_s для крупных событий, результат часто зависит от того, какие данные используются – региональные или телесейсмические. Сопоставление результатов расчета отношения величин сейсмической энергии, определенных для одних и тех же событий по результатам обработки записей широкополосных датчиков и записей короткопериодных датчиков, показывает, что в последнем случае величина энергии оказывается заниженной в несколько раз (среднее отношение по 250 событиям ~3.9) с тенденцией увеличения разницы с ростом масштаба землетрясения [1].

При регистрации событий малых магнитуд критическим параметром оказывается верхняя граница f_M полосы пропускания аппаратуры. Мы использовали при анализе только те исходные данные, для которых выполнялось соотношение $f_M \ge 2f_0$,где f_0 – угловая частота спектра источника. Как показывают оценки [1], в этом случае рассчитанная величина E_s не более чем вдвое меньше истинного значения.

Для большинства относительно крупных событий (Mw>5), внесенных в каталог, известны фокальные механизмы, что позволяет рассмотреть влияние типа разломообразования в очаге и тектонической обстановки на эффективность излучения. Анализ

полученных зависимостей показывает, что эффективность излучения для землетрясений со сдвиговым механизмом ($\bar{e} = 7.3 \cdot 10^{-5}$) в 3-4 раза выше, чем для сбросов ($\bar{e} = 2.6 \cdot 10^{-5}$) и надвигов ($\bar{e} = 1.8 \cdot 10^{-5}$).

В рассматриваемых данных не удалось обнаружить значимого влияния тектонической обстановки на величину средней приведенной энергии. Средние значения отношения E_s/M_0 для событий в континентальной коре ($\bar{e} = 3.7 \cdot 10^{-5}$), внутриплитовых ($\bar{e} = 3.2 \cdot 10^{-5}$) и межплитовых ($\bar{e} = 3.0 \cdot 10^{-5}$)землетрясений в субдукционных зонах весьма близки.

Тенденцию изменения средней величины приведенной сейсмической энергии с масштабом землетрясения удобно проследить, усредняя отношение $e = E_s / M_0$ в каждом диапазоне моментных магнитуд с шагом $\Delta M_w = 1$. Результаты показаны на рис.3 в виде гистограммы. Можно видеть, что при изменении сейсмического момента на 19 порядков среднее значение приведенной сейсмической энергии изменяется примерно на порядок – от 4 10⁻⁶ для самых слабых событий до 5 10⁻⁵ для землетрясений с $M_w \sim 4 \div 6$. Для сдвигов наблюдается пик $e \sim 9 \cdot 10^{-5}$ в диапазоне $M_w \sim 6 \div 7$, а снижение эффективности излучения в области больших магнитуд не столь выражено. При этом разброс значений для конкретных событий с близким сейсмическим моментом намного больше и достигает трех порядков и более.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Приведенные данные подтверждают хорошо известное положение, что усреднение по всему диапазону масштабов дает соотношения между сейсмической энергией и сейсмическим моментом, близкие к закону геометрического подобия. Тем не менее, детальное рассмотрение позволяет обнаружить закономерные отклонения от пропорциональной зависимости $E(M_0)$. В области самых слабых событий, представленных почти исключительно шахтной сейсмичностью, наблюдается увеличение величины приведенной энергии в несколько раз с ростом масштаба (область 1 на рис.3). Второй участок роста эффективности излучения наблюдается в области средних магнитуд. Для самых крупных событий с $M_w > 7$ можно видеть некоторое снижение величины \bar{e} .

Хотя зависимость осредненной поинтервально приведенной сейсмической энергии от масштаба события не выходит за пределы одного порядка, ее интерпретация, по нашему мнению, важна для понимания особенностей геомеханики землетрясений.

Судя по данным наблюдений, существует несколько иерархических уровней, внутри которых изменение параметров событий с масштабом происходит по разным законам, что, вероятно, связано с определенной иерархией разломов и трещин, к которым приурочены землетрясения.

Связать макроскопические характеристики разлома с сейсмической энергией удобно, используя соотношения (3) - (7), выписанные при рассмотрении энергетического баланса. В предположении постоянства жесткости разлома k_s и окружающего массива k_m , имеем:

$$\frac{E_s}{M_0} = \frac{\frac{\Delta\sigma}{2}(D - D_c)}{\mu \cdot D} = \frac{\Delta\sigma}{2 \cdot \mu} \left[1 - \frac{k_m}{k_s} \right]$$
(9)

Используя (7) и эмпирическое выражение для оценки сдвиговой жесткости трещин и разломов разного масштаба [1]:

$$k_{s} = \begin{cases} (1.5) \cdot 10^{11} \ L^{-1} \ \Pi a/m, & L < 500 \div 1000m, \\ (1.9) \cdot 10^{9} \ L^{-0.32} \ \Pi a/m, & L > 500 \div 1000 \ m \end{cases}$$
(10)

получаем из (21) выражение для приведенной сейсмической энергии:

$$e = \frac{E_s}{M_0} = \frac{\Delta\sigma}{2\mu} \begin{cases} 1 - (2 \div 2.7) \cdot 10^{-11} \cdot \mu, & L < 500 \div 1000 \,\text{M} \\ 1 - (1.5 \div 2) \cdot 10^{-9} \cdot \mu \cdot L^{-0.68}, \, L \ge 500 \div 1000 \,\text{M} \end{cases}$$
(11)

где L — характерная длина разрыва.



Рис. 3. Зависимость средней величины приведенной сейсмической энергии от моментной магнитуды землетр ясения.

Сплошная линия – зависимость для всего каталога; пунктир – для сдвигов.

Данные осреднялись в интервалах магнитуды с шагом $\Delta M_w = 1$

1 – техногенная сейсмичность на малых глубинах

2 – малые землетрясения и афтершоки

3 – область увеличения и стабилизации величины е землетрясений среднего масштаба

4 – область снижения величины е крупнейших землетрясений

Таким образом, линейные размеры L ~ 500–1000 м являются некоторой переходной областью, после которой изменяются масштабные соотношения как для характеристик разломов, так и для параметров очагов землетрясений. Эффективная мощность зоны влияния сформировавшегося разлома, его жесткость, величина сейсмического момента землетрясений изменяются с масштабом заметно медленнее, чем в самоподобной среде [1]. Этот размер примерно соответствует землетрясениям с моментной магнитудой 3.5–4.

Соотношение (11) позволяет обнаружить некоторые особенности, характерные для сейсмических событий разного масштаба.

Для техногенной сейсмичности, индуцированной горными работами и заполнением водохранилищ, характерны мелкие землетрясения с $M_w < 1$, расположенные на небольших глубинах. Согласно (11), в этом интервале приведенная сейсмическая энергия не зависит от масштаба события. Наблюдаемое увеличение среднего значения *e* (см. рис.3) вероятно связано с эффектом снижения значения модуля сдвига породы при увеличении характерного размера задачи [8]. Это предположение согласуется с тем, что при проведении наблюдений в глубоких шахтах (H~3.5км) эффекта увеличения величины приведенной сейсмической энергии с ростом масштаба обнаружено не было [7]. Вероятно, из-за большого литостатического давления величина μ «in situ» на таких глубинах достигает значений, наблюдаемых в образцах ($V_s = 3700-3800 \text{ м/c}; \mu = (4-4.2) \cdot 10^{10} \Pi a$).

Для природных событий, расположенных на сейсмогенных глубинах, можно, как обычно, полагать, что µ практически не зависит от масштаба, тектонической обста-

новки и глубины. В этом случае нелинейная зависимость жесткости разлома от длины [1, 8] приводит к быстрому — в несколько раз — росту среднего значения приведенной сейсмической энергии в диапазоне магнитуд M_w 3÷5. Для более крупных землетрясений этот эффект менее заметен.

Для самых слабых землетрясений с отрицательными магнитудами, очаги которых расположены на сейсмогенных глубинах, сведения практически отсутствуют, поскольку такие события, как правило, не регистрируются сейсмическими сетями.

Отмеченное постепенное снижение величины приведенной сейсмической энергии для самых крупных событий определяется, очевидно, тем обстоятельством, что многие крупные землетрясения представляют собой сбросы и надвиги в межплитных зонах. Здесь эффективность излучения, согласно изложенному выше и данным [9], заметно ниже, чем у континентальных и особенно океанических сдвигов. Кроме того, некоторые из них, — например, так называемые "цунамигенные" землетрясения, — имеют довольно низкую скорость распространения разрыва, что резко снижает величину излученной энергии.

Подводя итоги, отметим, что выполненный анализ позволил установить, что такие факторы, как масштаб землетрясения и его механизм, определяют общие тенденции изменения эффективности излучения. Макроскопическим параметром, контролирующим эффективность сейсмического источника, является жесткость разлома или трещины. Закономерности изменения этого параметра с масштабом определяют несколько иерархических уровней, внутри которых изменение характеристик землетрясений с масштабом происходит по разным законам.

Первый уровень – техногенно индуцированная сейсмичность – мелкие события с $M_w < 1$, расположенные на небольших глубинах. В этом интервале жесткость трещин снижается обратно пропорционально размеру, а регулярно наблюдаемые отклонения от подобия, связаны, главным образом, с зависимостью эффективного модуля сдвига среды от масштаба.

Ко второму классу событий следует отнести мелкие землетрясения, очаги которых расположены на сейсмогенных глубинах. Параметры землетрясений с магнитудой $M_{w} \sim 0 \div 3$ во многом определяются местом расположения гипоцентра. Если очаги приурочены к мелким трещинам, расположенным в стороне от магистральной зоны крупного разлома, то их параметры подчиняются законам подобия, т.е. $E_s \sim M_0$. Если же последовательности повторных событий происходят непосредственно на участках крупных разломных зон, жесткость которых существенно отличается от жесткости мелких трещин, то наблюдаются значительные отклонения от закона подобия, проявляющиеся, в частности, в снижении величины приведенной сейсмической энергии и увеличении рекуррентного времени между событиями [1].

Характерные линейные размеры L~500-1000 м являются некоторой переходной областью, после которой изменяются масштабные соотношения как для характеристик разломов, так и для параметров очагов землетрясений.

Нелинейная зависимость жесткости разлома от длины приводит к быстрому росту (в несколько раз) среднего значения эффективности сейсмического источника в диапазоне магнитуд M_w 3÷6. Для более крупных землетрясений этот эффект заметен только для сдвигов.

Для крупнейших землетрясений с M_w>7 наблюдается снижение величины приведенной сейсмической энергии, особенно выраженное для разломов со смещением по падению.

Причины огромного разброса значений приведенной энергии вокруг среднего значения требуют дополнительного изучения. Вполне вероятно, что величина приведенной сейсмической энергии определяется мезоструктурой и физико-механическими

характеристиками центральной части разлома. Судя по результатам лабораторных экспериментов, даже небольшие вариации этих характеристик могут приводить к радикальным отличиям как в амплитуде сброшенного напряжения, так и в скорости распространения разрыва вплоть до формирования различных режимов деформирования.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 14-17-00719).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочарян Г.Г. Масштабный эффект в сейсмотектонике// Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т.5. №2. С.3583-385.

2. Маловичко А.А., Маловичко Д.А. Оценка силовых и деформационных характеристик очагов сейсмических событий// В Кн. Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов: Т.2. Отв. ред. Н. Н. Мельников, Новосибирск. 2010. С.66-92.

3. Hua W., Chen Z., Zheng S. Source parameters and scaling relations for reservoir induced seismicity in the longtan reservoir area, PAGEOPH, 2013, Vol. 170. P.767–783.

4. Scholz, C. H. (1982). Scaling laws for large earthquakes: consequences for physical models, BSSA. 1982. 72, P.1-14.

5. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1983. 110 с.

6. Ide S., Beroza G. Does apparent stress vary with earthquake size? Geophys. Res. Lett., 2001, Vol. 28. P.3349–3352.

7. Kwiatek G., Plenkers K., Dresen G. et al. Source parameters of picoseismicity recorded at mponeng deep gold mine, South Africa: implications for scaling relations, Bull. Seismol. Soc. Am., 2011, Vol. 101. No. 6.

8. Кочарян Г.Г. Жесткость разломной зоны как геомеханический фактор, контролирующий излучательную эффективность землетрясений в континентальной коре.// ДАН, 2013. Т.452. № 1. С.87–91.

9. Choy G.L., McGarr A., Kirby S.H., Boatwright J. An Overview of the Global Variability in Radiated Energy and Apparent Stress// In Earthquakes : radiated energy and the physics of faulting / Rachel Abercrombie [et al.], editors. AGU 2006. P.43-57.

RELATION OF THE RADIATION EFFICIENCY TO THE SCALE AND THE GENESIS OF SEISMIC EVENTS

Kocharyan Gevorg IDG RAS, Moscow gevorgkidg@mail.ru

Summary. It is shown that such factors as the scale of an earthquake and its mechanism determine general trends in seismic radiation efficiency. The macroscopic parameter controlling the efficiency of seismic source is the stiffness of a fault or tectonic fracture. Constitutive laws of stiffness evolution with the scale determine several hierarchical levels, at which the change in characteristics of earthquakes occur by different laws. Even small variations in properties of the principal slip zone may lead to drastic differences in the amplitudes of

stress drops, and the value of rupture propagation velocity and moreover, to realization of different deformation modes

Key words: earthquake, seismic energy, seismic moment, radiation efficiency

УДК 550.83:551.214 [265] ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ ТИХОГО ОКЕАНА

Рашидов Владимир Александрович

ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский rashidva@kscnet.ru

Аннотация. Всестороннее изучение Мирового океана является одной из важнейших и насущных задач, стоящих перед современной наукой. Особое место в ряду методов, применяемых сегодня для изучения подводного вулканизма, занимают геомагнитные исследования. В последние 55 лет геомагнитные исследования подводных вулканов получили широкое распространение.

Ключевые слова: геомагнитные исследования, подводные вулканы, Тихий океан

Одной из характерных особенностей океанического дна является широкое развитие подводных гор. Подводные горы встречаются во всех основных морфоструктурах Мирового океана, представляя собой как изолированные постройки, так и различные цепи и группы. Большинство подводных гор являются подводными вулканами, имеющими, как правило, конусообразную форму. Сложены они, в основном, вулканогенными породами. Небольшое количество подводных гор имеет глыбовое происхождение и сложены они, как правило, осадочными и метаморфическими породами и практически не отражаются в магнитных полях. Встречаются как островершинные, так и плосковершинные горы. Вершины многих подводных гор поднимаются над поверхностью воды, образуя вулканические острова. На многих подводных вулканах развиты железомарганцевые образования.

Современная подводная вулканическая деятельность приурочена к рифтовым зонам срединно-океанических хребтов, к «горячим точкам», к островным дугам и окраинным морям. Это, по сути, различные геотектонические типы вулканизма, отличающиеся условиями проявления, составом изверженных продуктов, характером извержений и другими особенностями. Современный подводный вулканизм по объему продуктов извержений ~ в 4 раза превосходит наземный.

Для вулканов островных дуг характерны породы известково-щелочной серии от базальтов до дацитов. В окраинных морях развиты толеитовые и щелочные базальты, трахибазальты и ферробазальты.

Для подводных вулканов, вершины которых располагаются глубже первых сотен метров, характерны лавовые излияния. Эксплозивные извержения резко преобладают у субаквальных вулканов.

Исследование как активных и потенциально активных подводных вулканов, так и палеовулканов представляет собой актуальную задачу исключительной важности. С точки зрения фундаментальных задач геотектоники и геодинамики подводные вулканы – это эффективные индикаторы геодинамических процессов, формирующих литосферу Мирового океана. Но изучение подводных вулканов имеет и чрезвычайно важное прак-

тическое значение, так как области современного вулканизма оказывают огромное непосредственное воздействие на природную среду и жизнедеятельность людей.

В отличие от наземного вулканизма, более или менее доступного непосредственному наблюдению, для изучения подводного вулканизма требуются специальные транспортные средства, аппаратура, регистрирующая различные физико-химические параметры и оборудование. Большую роль в изучении подводного вулканизма играет интуиция и везение исследователей.

Морская магнитометрия является одним из древнейших направлений в изучении магнитного поля Земли и геологического строения дна Мирового океана, а гидромагнитная съемка (ГМС) играет существенную роль при комплексном исследовании подводного вулканизма. Изучение контрастных магнитных свойств пород, слагающих подводные вулканы, помогает получать данные об условиях их образования.

Имеются различные области применения анализа аномального магнитного поля (АМП) Мирового океана для решения геологических задач. Геомагнитные исследования одиночных подводных вулканов, вулканических массивов и зон для изучения их внутреннего строения и истории формирования в рамках геологического направления выделены в самостоятельную проблему.

В последние 55 лет геомагнитные исследования подводных вулканов получили широкое распространение. Для АМП Мирового океана характерно наличие четких локальных аномалий, приуроченных к подводным вулканам, имеющих амплитуду, достигающую 3000 нТл и горизонтальные градиенты, нередко превышающие 200 нТл/км. Иногда отмеченные локальные аномалии осложнены дополнительными экстремумами, связанными с разноглубинными вулканическими телами, отдельными экструзивными пиками и поздним перемагничиванием магматического материала. Отмечена хорошая корреляция АМП подводных вулканов с их современным рельефом.

Наблюдаемые локальные аномалии представляют собой суперпозицию магнитного эффекта от самой вулканической постройки и ее глубинных корней. В областях проявления современного подводного вулканизма горные породы сильно дифференцированы по величине естественной остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости.

Изучение магнитных характеристик образцов горных пород, полученных путем драгирования, глубоководного бурения и с помощью подводных обитаемых аппаратов показывает, что эти образцы обладают остаточной намагниченностью во много раз превышающей индуцированную

Со времен пионерских исследований АМП подводных вулканов развиваются два взаимодополняющих направления. При палеомагнитном изучении на основе совместного анализа данных ГМС и эхолотного промера, вычисляется величина и направление вектора эффективной намагниченности, а затем координаты виртуальных палеомагнитных полюсов. Это позволяет оценить возраст образования вулканических построек, а при наличии данных об абсолютном возрасте пород, слагающих вулкан, проводить геодинамические реконструкции. При геолого-структурном изучении на основе геомагнитного моделирования и определения магнитных свойств драгированных пород исследуется строение подводных вулканов и их эволюция.

Первоначально вулканические постройки аппроксимировались вертикальными круговыми конусами и цилиндрами, или набором однородно намагниченных прямоугольных параллелепипедов. Решалась прямая задача, которая сравнивалась с наблюденным магнитным полем. В последующие годы строились модели, состоящие из блоков с различными величиной и направлением вектора намагниченности. Выполнялось совместное определение средней однородной и минимальной неоднородной намагниченности внутри вулканической постройки, моделирование, основанное на решении обратной задачи по методу обобщенной линейной инверсии в комплексе с процедурой перепараметризации модели и восстановление намагниченности по площади. С появлением современных технологий в последнее время появились новые пакеты программ 3D магнитного моделирования, позволяющие определять особенности строения вулканических построек.

В Тихом океане отечественными и зарубежными учеными выполнен большой объем гидромагнитных исследований подводных вулканов различного возраста.

Заметную роль в изучении подводных вулканов Тихого океана сыграли камчатские ученые [1-18, http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/index.html, http://www.guyot.ocean.ru/], плодотворно работающие в тесном контакте с коллегами из Москвы, Перми, Костромы, Владивостока, Хабаровска и Иркутска.

В результате 15-ти летних исследований подводного вулканизма Тихого океана с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Вулканолог» была разработана эффективная методика изучения современного подводного вулканизма, исследовано большое количество подводных вулканов, выявлены определенные критерии обнаружения неизвестных вулканических объектов геофизическими и гидрохимическими методами исследований. Детально изучены позднекайнозойские подводные вулканы Кермадек Соломоновой, Марианской, Идзу-Бонинской, Курильской островных дуг, Новогвинейского и Южно-Китайского окраинных морей, южной части Командорской котловины, «горячей точки» Сокорро и меловые гайоты Магеллановых гор и гор Маркус-Неккер (рис. 1).



Рис. 1. Районы исследований проявлений подводного вулканизма в Тихом океане с борта НИС «Вулканолог»

В комплекс вулканологических исследований входили эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), ГМС и драгирование. На первом этапе на ходу судна выполнялись профильные или полигонные геофизические исследования, а на втором – в выбранных точках отрабатывались станции драгирования. Полигонные геофизические исследования выполнялись при скорости судна от 1-2 до 7-11 узлов в зависимости от решаемых задач. Они проводились по сети галсов, выбранной с учетом задач стоящих перед комплексными вулканологическими исследованиями, и наличия судового времени. Межгалсовое расстояние при проведении геофизических исследований выбиралось с учетом предполагаемых размеров изучаемых объектов. Применялись ортогональная система профилей, система профилей, пересекающихся под различными углами и система профилей «звезда». При планировании работ учитывалось, что профили наблюдений желательно располагать вкрест магнитных аномалий. Сеть профилей наращивалась при проведении последующих работ на изучаемых объектах. К большому сожалению, часто сети съемочных профилей оказывались нерегулярными, а их плотность редкой.

Использовалась единая служба судового времени, позволявшая синхронизировать работу всей регистрирующей аппаратуры и приводить результаты измерений к единым координатам времени и пространства. Навигационная привязка геофизических профилей и геологических станций осуществлялась с помощью судовых радиолокаторов и спутниковой навигационной системы.

Материалы геомагнитных исследований, выполненных с борта НИС «Вулканолог», позволили получить сведения о структуре АМП, наблюдаемого над подводными вулканами в различных морфоструктурах Тихого океана, о величине естественной остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости драгированных пород [1-18]. По данным ГМС прослежены границы различных вулканических структур и зон, сделаны предположения о возрасте их образования. Иногда из всего применяемого на НИС «Вулканолог» комплекса исследований ГМС являлась единственным действенным методом обнаружения подводных вулканов [12].

Разработанная технология количественной интерпретации материалов ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП и анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород [1-6], позволила проводить интерпретацию непосредственно по исходным данным, не прибегая к некорректной процедуре их восстановления в узлах регулярной сети. С помощью этой технологии изучено строение ряда подводных вулканов Курильской островной дуги (КОД) и выявлены лавовые потоки, лавовые пробки, вершинные кальдеры. Оценены масштабы, формы, а в ряде случаев определена и стадийность проявления подводной вулканической деятельности. Установлены возможные местоположения магматических камер и направления подводящих каналов, строение застывших магматических систем подводных вулканов КОД.

В пределах островных дуг Тихого океана преобладают излияния центрального типа. Подводные вулканы, представляющие собой изолированные постройки, массивы и группы, отчетливо проявляются в аномальном магнитном поле ΔT_a наличием локальных аномалий, приуроченных к вулканическим постройкам. В высоких широтах доминируют изометричные аномалии, но встречаются и вытянутые формы. В средних и низких широтах преобладают дипольные аномалии магнитного поля. Размеры аномалий, как правило, сопоставимы с размерами вулканических построек.

В окраинных морях выявлены подводные вулканические зоны, в пределах которых преобладают трещинные излияния. Эти зоны хорошо выделяются по интенсивным знакопеременным аномалиям магнитного поля [8, 12, 14].

Для гайотов Магеллановых гор Вулканолог и Коцебу выделены и прослежены на глубину подводящие магматические каналы [16]. Для гайота Сет в горной системе Маркус-Неккер, выявлена застывшая магматическая система, обладающая сложной морфологией с внушительными горизонтальными и вертикальными размерами [9]. Интегрированный анализ имеющегося материала [14] показал, что над 16.7% позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана отмечены отрицательные аномалии магнитного поля ΔT_a , над 13% – положительные аномалии с амплитудой до 100 нТл, над 9.3% – с амплитудой 301-400 нТл. По 10% приходится на долю вулканов с амплитудой 101-200 и 401-501 нТл. (рис. 2).

Горные породы, слагающие подводные вулканы, оказались сильно дифференцированными по величине естественной остаточной намагниченности, магнитной восприимчивости и Q-фактора (фактора Кенигсбергера) (рис. 3-5). Наиболее магнитными являются свежие неизмененные разности.



Рис. 2. Распределение амплитуд магнитных аномалий ΔT_a познекайнозойских подводных вулканов Тихого океана



Рис. 3. Распределение средних значений естественной остаточной намагниченности драгированных вулканитов, Jn



Рис. 4. Распределения средних значения магнитной восприимчивости драгированных вулканитов (X, ·10⁻³ ед. СИ)





Оригинальный фактический материал, собранный при проведении исследований в рейсах НИС «Вулканолог» и его комплексная интерпретация существенно дополнили имеющиеся представления о подводном вулканизме Тихого океана.

В настоящее время выполняется перманентная интеграция вузовской, академической и отраслевой науки организаций Москвы, Костромы, Перми и Петропавловска-Камчатского и привлечение аспирантов и молодых ученых для выполнения фундаментальных научных исследований в рамках проектов РФФИ, направленных на изучение подводных вулканов Курильской островной дуги и гайотов Магеллановых гор в Тихом океане.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-05-02955-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А. Применение пакета программ структурной интерпретации СИГМА-3D при изучении подводных вулканов Курильской островной дуги // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 2. Вып. 6. С. 67-76.

2. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А.Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012. № 4. С. 8-17.

3. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1, Курильская островная дуга // Геофизика. 2012. № 2. С. 58-66.

4. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. С. 77-85.

5. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. Применение современных компьютерных технологий для исследования подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 27-40.

6. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Пилипенко О.В., Рашидов В.А., Трусов А.А. Геофизические исследования подводного вулкана Обручева (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 42-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, 26 января – 29 января 2014 г. Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. С. 21-23.

7. Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Исследование подводного вулканического хребта к северу от острова Сан-Бенедикто // Вулканология и сейсмология. 1995. № 6. С.7 6-87.

8. Горшков А.П., Иваненко А.Н., Рашидов В.А. Гидромагнитные исследования подводных вулканических зон в окраинных морях Тихого океана (на примере Новогвинейского и Южно-Китайского морей) // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 13-20.

9. Долгаль А.С., Иваненко А.Н., Новикова П.Н., Рашидов В.А. Геомагнитные исследования гайота Сет (Тихий океан) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 40-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 28 января – 1 февраля 2013 г. М.: ИФЗ РАН. 2013. С. 133-136.

10. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Ответственный редактор академик Ю.М. Пущаровский. М.: Наука, 1992. 528 с.

11. Рашидов В.А. Строение действующего подводного вулкана в островной дуге Кермадек по данным гидромагнитной съемки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 114-118.

12. Рашидов В.А. Возможности гидромагнитной съемки при поиске подводных вулканов (на примере позднекайнозойского вулканизма Южно-Китайского моря) // Вулканология и сейсмология. 1997. № 1. С. 17-31.

13. Рашидов В.А. Геомагнитные исследования подводных вулканов Минами-Хиоси и Фукудзин (Марианская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 55-64.

14. Рашидов В.А. Геомагнитные исследования при изучении подводных вулканов островных дуг и окраинных морей западной части Тихого океана. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Петропавловск-Камчатский, 2010. 27 с.

15. Рашидов В.А., Горшков А.П., Иваненко А.Н. Магнитные исследования над подводными вулканами Эсмеральда и Софу // Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии на акваториях морей и океанов электромагнитными методами. М.: ИЗМИРАН, 1981. С. 213-218.

16. Рашидов В.А., Долгаль А.С., Новикова П.Н. Геомагнитные исследования гайотов Вулканолог и Коцебу (Магелановы горы, Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. № 13. С. 98-106.

17. Рашидов В.А., Округин В.М., Ладыгин В.М., Округина А.М. Подводная вулканическая группа Ковачи (Соломонова островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2002. № 5. С. 11-24.

18. Рашидов В.А., Сапожников Е.А. Геолого-геофизические исследования подводной вулканической группы Софу (Идзу-Бонинская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 4. С. 39-47.

GEOMAGNETIC INVESTIGATION OF THE PACIFIC SUBMARINE VOLCANOES

Rashidov Vladimir Alexandrovich

IVS FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky rashidva@kscnet.ru

Summary. Comprehensive investigation of the World ocean is one of the most important and vital tasks of the modern science. Geomagnetic method is very essential for submarine volcanoes investigation. During the last 55 years the investigation of submarine volcanoes using geomagnetic methods became frequent.

Keywords: geomagnetic investigations, submarine volcanoes, the Pacific Ocean.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абкадыров Ильяс Фаритович

aifgf@mail.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН *Научный руководитель* Селиверстов Николай Иванович, д.г.-м.н.

Авдалян Арман Грачович

armando1981@mail.ru Гюмри Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА *Научный руководитель* Оганесян Амаяк Оганесович

Адилов Зарахман Ашуралиевич

adilov79@mail.ru Махачкала Дагестанский филиал Геофизической службы РАН *Научный руководитель* Асманов Осман Абдуллаевич

Айрапетян Айк Самвелович

h_hayk84@yahoo.com Гарни Западная служба сейсмической защиты МЧС РА

Акбашев Ринат Рафикович

ice@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский филиал Геофизической службы РАН *Научный руководитель* Фирстов Павел Павлович, д.ф.-м.н.

Антипин Александр Николаевич

anantipin@rambler.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН *Научный руководитель* Хачай Юрий Васильевич, д.ф.-м.н.

Арзамасцев Евгений Владимирович

deazer51@mail.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН

Артемьев Денис Андреевич

denis.art.art@mail.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Афонин Никита Юрьевич

afoninnikita@inbox.ru Архангельск Институт экологических проблем Севера УрО РАН *Научный руководитель* PhD E. Kozlovskaya

Ашурбеков Заур Идрисович

adilov79@mail.ru Махачкала Дагестанский филиал Геофизической службы РАН *Научный руководитель* Асманов Осман Абдуллаевич

Баженова Евгения Анатольевна

bazenova_jena@mail.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН Научный руководитель Астраханцев Юрий Григорьевич, д.т.н.

Байдиков Сергей Владимирович

badikek@mail.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН

Бакиянов Алексей Иванович

absh_04@list.ru Горно-Алтайск Горно-Алтайский государственный университет *Научный руководитель* Гвоздарев Алексей Юрьевич, к.т.н.

Бауэр Андрей Антонович

andreyka.bauer@mail.ru Красноярск Сибирский федеральный университет ПИ *Научный руководитель* Кулагина Людмила Владимировна, к.т.н.

Бельков Никита Владимирович

nikitabelkow@mail.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Луппов Владимир Иванович, ассистент

Берсенёва Наталья Юрьевна

nata@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский филиал Геофизической службы РАН *Научный руководитель* Копылова Галина Николаевна, д.г.-м.н.

Букатов Юрий Юрьевич

aifgf@mail.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН *Научный руководитель* Селиверстов Николай Иванович, д.г.-м.н.

Варлашова Юлия Викторовна

ivanova@mi-perm.ru Пермь Горный институт УрО РАН *Научный руководитель* Маловичко Алексей Александрович, член-корр. РАН

Вдовин Алексей Геннадьевич

agvd@bk.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН *Научные руководители* Астраханцев Юрий Григорьевич, д.т.н.

Ведерников Андрей Сергеевич

avedernikov@igduran.ru Екатеринбург Институт горного дела УрО РАН

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

Верхоланцева Татьяна Викторовна

tati.verkholantseva@gmail.com Пермь Горный институт УрО РАН *Научный руководитель* Дягилев Руслан Андреевич, к.ф.-м.н.

Викулин Александр Васильевич

vik@kscnet.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатский государственный технический университет

Власова Алена Вячеславовна

avv11@tpu.ru Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ТПУ *Научный руководитель* Лобова Галина Анатольевна, к.г.-м.н.; Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Гайдай Наталия Константиновна

nataly_mag@rambler.ru Магадан Северо-Восточный Комплексный НИИ ДВО РАН

Геранин Кирилл Олегович

aifgf@mail.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН *Научный руководитель* Селиверстов Николай Иванович, д.г.-м.н.

Гладков Владимир Николаевич

Vladimirngladkov@gmail.com Новосибирск Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН *Научный руководитель* Еманов Александр Федорович, д.т.н.

Глотов Алексей Анатольевич

lik5611@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Голубева Инга Викторовна

gol@hotbox.ru Пермь Геофизическая служба РАН, Горный институт УрО РАН

Горелов Петр Владимирович

pet_gor@mail.ru Владивосток Дальневосточный федеральный университет, Геофизическая служба РАН *Научный руководитель* Шкабарня Николай Григорьевич, д.т.н.

Горшков Виталий Юрьевич vitalaa@yandex.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН

Григорьев Данила Вячеславович

danilging@gmail.com Екатеринбург Институт горного дела УрО РАН

Гусев Александр Александрович

gusev@emsd.ru Петропавловск-Камчатский 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.

Давыдов Вадим Анатольевич

davyde@yandex.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН

Данилов Алексей Викторович

danilov.aleksey.vikt@gmail.com Архангельск Институт экологических проблем Севера УрО РАН *Научный руководитель* Капустян Наталия Константиновна, д.ф.м.н.; Антоновская Галина Николаевна, к.т.н.

Диханов Ерлан Нургалиевич

Dikhanov@bk.ru Жезказган ТОО «Корпорация Казахмыс» Научный руководитель Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

Долгая Анна Андреевна

adolgaya@kscnet.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатский государственный технический университет Научный руководитель Викулин Александр Васильевич, д.ф.-м.н.

Доманин Александр Юрьевич

Domanin.ayu@gmail.com Воронеж Воронежский Государственный Университет *Научный руководитель* Жаворонкин Валерий Иванович, к.г.-м.н.

Друкаренко Виктория Владимировна

vdrukarenko@yandex.ru Киев Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины *Научный руководитель* Орлюк Михаил Иванович,д.г.н.

Дубовенко Юрий Иванович

nemishayeve@ukr.net Киев Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины *Научный руководитель* Старостенко Виталий Иванович, д.ф.-м.н.

Дягилев Руслан Андреевич

dr@mi-perm.ru Пермь Горный институт УрО РАН

Ефименко Сергей Анатольевич

serg_yef@mail.ru Жезказган ТОО «Корпорация Казахмыс»

Ефименко Ольга Сергеевна

olga91.06@yandex.ru Харьков Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» *Научный руководитель* Ефименко Сергей Анатольевич, к.т.н.

Ефременко Марина Алексеевна

2880@mail.ru Воронеж Воронежский Государственный университет, Геофизическая служба РАН

Ёкубов Шокирджон Ёкубович

уакиbov2013@mail.ru Душанбе Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан *Научный руководитель* Саломов Нусратулло Гафурович, к.ф.-м.н.

Заклюковская Анастасия Сергеевна

zaklyukovskaya@gmail.com Воронеж Воронежский Государственный университет, Геофизическая служба РАН *Научный руководитель* Габсатарова Ирина Петровна, д.ф.-м.н.

Заключнов Игорь Сергеевич

i.zaklyuchnov@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Митюнина Ирина Юрьевна

Замятин Алексей Леонидович

a.zamyatin@mail.ru Екатеринбург Институт горного дела УрО РАН *Научный руководитель* Сашурин Анатолий Дмитриевич, д.т.н.

Зубриков Александр Андреевич

zubrikoff92@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Иванов Данил Борисович

acrost@mail.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН *Научный руководитель* Иголкина Галина Валентиновна, д.г.-м.н.

Иванова Екатерина Владимировна

kredalamber@yandex.ru Архангельск Геофизическая служба РАН, Сектор сейсмического мониторинга Севера Русской плиты *Научный руководитель* Морозов Алексей Николаевич, к.т.н.

Исагалиева Айгуль Калиевна

a_isagalieva@mail.ru Алматы Казахский Национальный технический университет им. К.И. Сатпаева *Научный руководитель* Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Искоркина Альбина Альбертовна

iskorkina.a@mail.ru Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ТПУ *Научный руководитель* Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Исламгалиев Дмитрий Владимирович

dif1205@mail.ru Екатеринбург Уральский государственный горный университет

Калинина Элеонора Владимировна

elakalinina@gmail.com Воронеж Воронежский Государственный университет, Геофизическая служба РАН

Касимова Виктория Александровна

vika@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский филиал Геофизической службы РАН *Научный руководитель* Копылова Галина Николаевна, д.г.-м.н.

Колыгин Александр Геннадьевич

akolygin51@yandex.ru Апатиты Горный институт Кольского научного центра РАН *Научный руководитель* Козырев Анатолий Александрович, д.т.н.

Конечная Яна Викторовна

arh-seismo@yandex.ru Архангельск Геофизическая служба РАН, Институт экологических проблем Севера УрО РАН *Научный руководитель* Капустян Наталия Константиновна, д.ф.м.н.

Косовягина Марина Владимировна

kosovyagina91@mail.ru Воронеж Воронежский Государственный Университет *Научный руководитель* Глазнев Виктор Николаевич, д.ф.-м.н.

Кочарян Геворг Грантович

gevorgkidg@mail.ru Москва Институт Динамики Геосфер РАН

Кропотина Ксения Константиновна

ksu240594@mail.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Криворучко Надежда Ивановна

seismica@mail.ru Киев Институт гидромеханики НАН Украины *Научный руководитель* Бойко В.В., д.т.н.

Ласкина Татьяна Андреевна

ognewatania@yandex.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Лисунов Евгений Витальевич

lisunov.evgeniy@gmail.com Владивосток Геофизическая служба РАН *Научный руководитель* Короченцев Владимир Иванович, д.ф.м.н.

Лузянин Владислав Алексеевич

vlad_luzyanin@mail.ru Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ТПУ *Научный руководитель* Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Лунгул Ольга Александровна

ok_204@mail.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН *Научный руководитель* Делемень Иван Федорович, к.г.-м.н.

Макаров Дмитрий Викторович

makarov@inep.ksc.ru Апатиты Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН

Макаров Евгений Олегович

arr@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский филиал Геофизической службы РАН *Научный руководитель* Фирстов Павел Павлович, д.ф.-м.н.

Макарова Диана Владимировна

dianka.zeta.22@mail.ru Магадан Северо-Восточный государственный университет *Научный руководитель* Гайдай Наталия Константиновна, к.г.-м.н.

Маликов Александр Владимирович

sankya1586@mail.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН

Малышев Михаил Викторович

Malyshev_mv@bk.ru Самара ОАО Самаранефтегеофизика *Научный руководитель* Калинин Алексей Юрьевич, к.т.н.

Мельник Виталий Вячеславович

melnikvv74@mail.ru Екатеринбург Институт горного дела УрО РАН

Мецоян Тигран Арамович

litsine@rambler.ru Гюмри Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА *Научный руководитель* Симонян Анаит Оганесовна, д.ф.-м.н.

Миронов Василий Александрович

vasya-kun@mail.ru Красноярск Сибирский федеральный университет ПИ *Научный руководитель* Кулагина Людмила Владимировна, к.т.н.

Миронова Наталья Константиновна

Natka.2013@yandex.ru Екатеринбург Институт геофизики УрО РАН *Научные руководители* Астраханцев Юрий Григорьевич, д.т.н.

Михайлова Яна Александровна

Mikhailovayana@gmail.com Архангельск Институт экологических проблем Севера УрО РАН *Научный руководитель* Морозов Алексей Николаевич, к.т.н.

Мичурин Антон Владимирович

ami.perm@mail.ru Пермь Горный институт УрО РАН

Муртазин Дамир Гумарович

damirmrt@gmail.com Пермь ОАО«Пермнефтегеофизика» *Научный руководитель* Неганов В.М., д.г.-м.н

Нафикова Альбина Ринатовна

albinabikbaeva@gmail.com Стерлитамак Стерлитамакский филиал «Башкирский государственный университет» *Научный руководитель* Кризский Владимир Николаевич, д.ф.м.н.

Новикова Полина Николаевна

polinagfz@gmail.com Пермь Горный институт УрО РАН

Оганян Марине Ваниковна

marine-0882@mail.ru Гюмри Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА *Научный руководитель* Симонян Анаит Оганесовна, д.ф.-м.н.

Оганесян Амаяк Оганесович

hmayak.hovhannisyan@bk.ru Гюмри Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА

Орлюк Михаил Иванович

orlyuk@igph.kiev.ua Киев Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины

Островский Артем Михайлович

Arti301989@mail.ru Гомель Гомельский государственный медицинский университет

Паровик Роман Иванович

romano84@mail.ru Паратунка Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН *Научный руководитель* Фирстов Павел Павлович, д.ф.-м.н.

Пивоваров Роман Сергеевич

nadezhka@geophys.vsu.ru Воронеж Воронежский Государственный университет, Геофизическая служба РАН

Плешков Лев Дмитриевич

levpleshkov@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Полянский Павел Олегович

PPavel6.10@gmail.com Новосибирск Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН *Научный руководитель* Еманов Александр Фёдорович, д.т.н.

Пономарева Екатерина Алексеевна

ponekaterina@rambler.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* В.М. Неганов, д.г.-м.н.

Пономарева Ксения Витальевна

Ksuoks@list.ru Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Герасимова Ирина Юрьевна, к.г.-м.н.

Пракойо Феликс Санто

felix.santo@yahoo.com Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ТПУ *Научный руководитель* Лобова Галина Анатольевна, к.г.-м.н.; Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Пугин Алексей Витальевич

leks-p@mail.ru Пермь Горный институт УрО РАН

Раевский Дмитрий Николаевич

nofirma2010@mail.ru Москва Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии Наук Степанова Инна Эдуардовна, д.ф.-м.н.

Рашидов Владимир Александрович

rashidva@kscnet.ru Петропавловск-Камчатский Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Розыган Тарас Витальевич

rozzval90@gmail.net Киев Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины *Научный руководитель* Орлюк Михаил Иванович,д.г.н.

Рязанцев Павел Александрович

chthonian@yandex.ru Петрозаводск Институт геологии КарНЦ РАН *Научный руководитель* Шаров Николай Владимирович, д.г.-м.н

Самойлова Ольга Михайловна

olgasm415@mail.ru Петропавловск-Камчатский Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН *Научный руководитель* Мороз Юрий Федорович, д.г-м.н.

Саргсян Рудольф Суренович

rudolf-sargsyan@mail.ru Гюмри Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА *Научный руководитель* Оганесян Амаяк Оганесович

Селетков Илья Алексеевич

Seletkov.Ilya@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Герасимова Ирина Юрьевна, к.г.-м.н.

Симанов Алексей Аркадьевич

simanov@mi-perm.ru Пермь Горный институт УрО РАН

Симонян Анаит Оганесовна

as_iges@freenet.am Гюмри Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА

Скоркина Анна Александровна

anna@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский филиал ГС РАН *Научный руководитель* Гусев Александр Александрович, д.ф.-м.н.

Старикович Екатерина Николаевна

Пермь Горный институт УрО РАН

Старцев Юрий Алексеевич

Jstar69@rambler.ru Апатиты Горный институт Кольского научного центра РАН *Научный руководитель* Козырев Анатолий Александрович, д.т.н.

Стоцкий Виталий Валерьевич

stotskiy_vv@sibmail.com Томск Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ТПУ *Научный руководитель* Исаев Валерий Иванович, д.г.-м.н.

Султанов Вильдан Фангарович

79373534347@yandex.com Октябрьский ООО НПФ «ВНИИГИС-3ТК» Научный руководитель Спасский Борис Алексеевич, д.г.-м.н.

Терещенко Максим Викторович

terexa@pochta.ru Нерюнги Технический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального Университета им. М.К. Аммосова *Научный руководитель* Гриб Николай Николаевич, д.т.н.

Турсуков Александр Леонидович

Екатеринбург Институт горного дела УрО РАН

Усупов Шухрат Набиевич

usupovshuhrat@mail.ru Душанбе Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан *Научный руководитель* Каримов Ф.Х., д.ф.-м.н.

Федоренко Ирина Валентиновна

fedorenko.irina.v@yandex.ru Архангельск Институт экологических проблем Севера УрО РАН *Научный руководитель* Капустян Наталия Константиновна, д.ф.м.н

Харисов Тимур Фаритович

A.zamyatin@mail.ru Екатеринбург Институт горного дела УрО РАН *Научный руководитель* Сашурин Анатолий Дмитриевич, д.т.н.

Хохлова Валерия Васильевна

valxov@gmail.com Пермь Горный институт УрО РАН *Научный руководитель* Долгаль Александр Сергеевич, д.ф.-м.н

Хусаинов Исмагильян Гарифьянович

ivt30@mail.ru Стерлитамак Стерлитамакский филиал «Башкирский государственный университет»

Хусаинова Гузалия Ядкаровна

gkama@mail.ru Стерлитамак Стерлитамакский филиал «Башкирский государственный университет»

Чебров Данила Викторович

danila@emsd.ru Петропавловск-Камчатский Камчатский филиал ГС РАН

Шаньшеров Александр Николаевич

shansherovAlex@gmail.com Пермь Пермский государственный национальный исследовательский университет *Научный руководитель* Колесников Владимир Петрович, д. т.н.

Шарейко Михаил Александрович

mixail.sharejko.91@mail.ru Красноярск Сибирский федеральный университет ПИ *Научный руководитель* Кулагина Людмила Владимировна, к.т.н.

Шарипов Нусратилло Сайфиддинович

nusrat88888@mail.ru Душанбе Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан *Научный руководитель* Саломов Нусратулло Гафурович, к.ф.-м.н.

Шкабарня Николай Григорьевич

Владивосток Дальневосточный федеральный университет, Геофизическая служба РАН

Яхина Ирина Айратовна

yahina-gfs@yandex.ru Октябрьский ООО НПФ «ВНИИГИС-3ТК» Научный руководитель Спасский Борис Алексеевич, д.г.-м.н

СОДЕРЖАНИЕ

АБКАДЫРОВ И.Ф., БУКАТОВ Ю.Ю., ГЕРАНИН К.О. Скоростные неоднородности под Авачинским вулканом по данным микросейсмического зондирования
АДИЛОВ З.А., АШУРБЕКОВ З.И. Кольцевая сейсмичность как указатель на вихревые явления в геофизической среде
HAYRAPETYAN H., SARGSYAN L., GHONYAN A., KHACHKALYAN K. Seismic observation network and data monitoring in NSSP RMMES, Armenia
АКБАШЕВ Р.Р., МАКАРОВ Е.О., ПАРОВИК Р.И. Изучение строения верхней части рыхлых отложений в пунктах мониторинга почвенного радона на Петропавловск- Камчатском геодинамическом полигоне
АНТИПИН А.Н. Решение задачи теплопереноса при аккумуляции земли в 3D модели с учётом адиабатического сжатия и случайного распределения падающих тел
АРЗАМАСЦЕВ Е.В., ИСЛАМГАЛИЕВ Д.В. Комплекс многочастотного индукционно- го зондирования
АРТЕМЬЕВ Д.А. Мониторинговые электроразведочные наблюдения при изучении ди- намики физических свойств среды (на примере Верхнекамского месторождения калий- ных солей)
АФОНИН Н.Ю. Методические особенности применения микросейсмического шума для изучения строения верхней части земной коры в районе SUASSELKÄ POST-GLACIAL FAULT (Северная Фенноскандия)
БАЖЕНОВА Е.А., ВДОВИН А.Г. Новая технология исследования скважин в режиме челночного каротажа
БАКИЯНОВ А.И. Изучение геомагнитного поля в геоактивных зонах республики Алтай
БАУЭР А.А., МИРОНОВ В.А., ШАРЕЙКО М.А. Определение сотрясаемости площадки строительства промышленного объекта различными геофизическими методами
БЕЛЬКОВ Н.В. Поиск пресной воды с применением метода ВЭЗ западнее пос. Култае- во Пермского края
БЕРСЕНЁВА Н.Ю. Автоматизированная система геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина», Камчатка
ВАРЛАШОВА Ю.В. Выбор оптимального расположения сейсмической станции с использованием расчетной карты уровня микросейсмических шумов
ВДОВИН А.Г. О регистрации электромагнитного излучения литосферного происхож- дения на железорудных месторождениях
ВЕДЕРНИКОВ А.С., МЕЛЬНИК В.В. База данных о геодинамических движениях как инструмент обоснования безопасного строительства и эксплуатации инженерных сооружений
ВЕРХОЛАНЦЕВ А.В. О необходимости учета влияния грунтовых условий при оценке сейсмического воздействия взрывных работ

ВЛАСОВА А.В., ПРАКОЙО Ф.С. Районирование нижнеюрского нефтегазоносного комплекса Усть-Тымской мегавпадины на основе палеотемпературного моделирования материнских отложений и картирования пластов-коллекторов
ГЛАДКОВ В.Н. Мониторинг дробности сейсмического процесса активизированных структур
ГЛОТОВ А.А., КРОПОТИНА К.К. Исследование возможности тензорной съемки с использованием ортогональной установки срединного градиента
ГОРЕЛОВ П.В., ШКАБАРНЯ Н.Г. Сейсмически опасные районы Приморского края 91
ГОРШКОВ В.Ю., МАЛИКОВ А.В., БАЙДИКОВ С.В., ДАВЫДОВ В.А. Изучение пло- тины Ельчевского пруда-отстойника с помощью методов малоглубинной электрораз- ведки
ГРИГОРЬЕВ Д.В., ТУРСУКОВ А.Л. Влияние структурно-тектонического строения массива горных пород на сейсмическое воздействие массового взрыва на здания и сооружения
ГУСЕВА Н.С., ГОЛУБЕВА И.В., ВАРЛАШОВА Ю.В., ВЕРХОЛАНЦЕВ Ф.Г., ВЕРХОЛАНЦЕВА Т.В., СТАРИКОВИЧ Е.Н. Обзор сейсмичности Уральского региона за 2014 год
ДАНИЛОВ А.В., АФОНИН Н.Ю. Модификация автоматического детектора сейсмических событий
ДОЛГАЯ А.А., ВИКУЛИН А.В. Моделирование закономерностей геодинамического процесса в пределах активных регионов планеты
ДОМАНИН А.Ю. Петрофизические особенности горных пород золоторудного месторождения Глухое (Приморский край)
ДУБОВЕНКО Ю.И. О некоторых аналитических аппроксимациях для приближенного определения плотностных контактов
ЁКУБОВ Ш.Ё. О зависимости эффектов проявления сильных землетрясений от инже- нерно-геологических условий территории
ЕФИМЕНКО О.С., ДИХАНОВ Е.Н., ЕФИМЕНКО С.А., МАКАРОВ Д.В. О возможно- сти реализации функций первичной рудоподготовки с помощью ядерно-геофизических технологий опробования руд
ЕФРЕМЕНКО М.А., КАЛИНИНА Э.В., ЗАКЛЮКОВСКАЯ А.С., ПИВОВАРОВ Р.С. Оценка эффективности регистрации далеких землетрясений сейсмической станцией «Сторожевое»
ЗАКЛЮКОВСКАЯ А.С. Анализ критериев выбора сейсмических событий для расчета добротности среды на примере сейсмической станции «Анапа» (ANN)
ЗАКЛЮЧНОВ И.С. Применение микромагнитной съемки на участке древнего захоронения в Нижегородской области
ЗАМЯТИН А.Л., ХАРИСОВ Т.Ф. Изучение состояния промплощадки и ствола шахты инженерно-геофизическими методами
ЗУБРИКОВ А.А., ШАНЬШЕРОВ А.Н. О применении промышленных магнитных полей при изучении геологической среды

ИВАНОВ Д.Б. Контроль источников обводнения при каротаже сейсмоакустической эмиссии
ИВАНОВА Е.В. Регистрация <i>Т</i> -фаз от арктических землетрясений с хребта Гаккеля сейсмической станцией «Земля Франца-Иосифа»
ИСКОРКИНА А.А., ИСАГАЛИЕВА А.К., СТОЦКИЙ В.В. Оценка влияния палеоклимата на геотермический режим материнских отложений и нефтегазоносность верхнеюрского НГК южной палеоклиматической зоны Западной Сибири
ИСКОРКИНА А.А., ИСАГАЛИЕВА А.К., ЛУЗЯНИН В.А. Геотермия как метод разве- дочной геофизики (на примере оценки ресурсов углеводородов неокома Западной Си- бири)
КАСИМОВА В.А. Пространственно-временные вариации мульти-фрактальных пара- метров низкочастотного сейсмического шума на Камчатке в 2011-2014 гг
КОЛЫГИН А.Г., СТАРЦЕВ Ю.А. Ультразвуковые исследования работы анкерной кре- пи Swellex в удароопасных условиях месторождения «Олений ручей»
КОНЕЧНАЯ Я.В. Сейсмичность архипелага Новая Земля: исторический обзор и современные данные
КОСОВЯГИНА М.В. Применение геофизических методов при изучении археологических объектов на территории Воронежской области
КРИВОРУЧКО Н.И. Сейсмобезопасность охранных объектов при ведении взрывных работ на горнодобывающих предприятиях
ЛАСКИНА Т.А., ПЛЕШКОВ Л.Д. Анализ особенностей проявления месторождений углеводородов в электромагнитных полях
ЛИСУНОВ Е.В. Результаты наблюдения за гравитационным полем Земли перед силь- ными землетрясениями
ЛУНГУЛ О.А. Уточнение сейсмических условий на территории дома культуры в горо- де Петропавловске-Камчатском
МАКАРОВА Д.В., ГАЙДАЙ Н.К. Землетрясения Магаданской области (научно-информационный сайт)
МАЛЫШЕВ М.В. Новый подход в обработке высокоплотных сейсмических данных 211
МИРОНОВА Н.К. Применение истокообразной аппроксимации в скважинной электроразведке
МИХАЙЛОВА Я.А. Годографы региональных сейсмических фаз Р и S для Евро- Арктического региона
МИЧУРИН А.В., ПУГИН А.В., СИМАНОВ А.А., ХОХЛОВА В.В., НОВИКОВА П.Н. Геофизические исследования Ледяной горы и Кунгурской ледяной пещеры
МУРТАЗИН Д.Г. Выделение эрозионных врезов по динамическим и кинематическим параметрам сейсмической записи на примере сейсморазведочных работ 2D 228
НАФИКОВА А.Р. К задаче диффузии-адвекции радона в кусочно-постоянных анизо- тропных слоистых средах с включениями
ОГАНЯН М.В., СИМОНЯН А.О., МЕЦОЯН Т.А. Изучение природы локальных аномалий геомагнитных вариаций, обнаруженных на территории Армении

ОРЛЮК М.И., ДРУКАРЕНКО В.В. Глубинные углеводороды и магнитная восприимчи- вость пород земной коры северо-западной части Днепровско-Донецкого авлакогена 239
ОСТРОВСКИЙ А.М. Узовский метеорит: структура, состав, происхождение
ПОЛЯНСКИЙ П.О. Применение алгоритма динамического пересчета головных волн к обработке данных сейсмического профиля 3-ДВ
ПОНОМАРЕВА Е.А. Электрометрическое моделирование верхнеюрских отложений 253
РАЕВСКИЙ Д.Н. Об эффективности модифицированного метода S-аппроксимаций при интерпретации данных геофизических полей
РОЗЫГАН Т.В., ОРЛЮК М.И. Линейные элементы Южного нефтегазоносного региона Украины по геомагнитным данным
РЯЗАНЦЕВ П.А. Оценка трещиноватости скального массива на основе моделей элек- тротомографии
САМОЙЛОВА О.М. Численное моделирование магнитотеллурического поля юговосточного побережья Камчатки
САРГСЯН Р.С., АВДАЛЯН А.Г., ОГАНЕСЯН А.О. Новый цифровой вариант уточненной гравитационной модели кристаллического фундамента земной коры территории Армении
СЕЛЕТКОВ И.А., ПОНОМАРЕВА К.В. Изменение характеристик волнового поля при изучении участков карстующихся пород
СКОРКИНА А.А., ГУСЕВ А.А. Определение второй и третьей корнер-частот по спектрам <i>P</i> и <i>S</i> волн для Камчатских землетрясений
ТЕРЕЩЕНКО М.В. Математическое моделирование сейсмической активности Южной Якутии
УСУПОВ Ш.Н. К методам картирования Украинского щита по данным геофизических исследований
ФЕДОРЕНКО И.В. Спектральные особенности землетрясений района арктического хребта Гаккеля
ХОХЛОВА В.В. Необходимость учета сферичности Земли при крупномасштабных гра- виметрических работах
ХУСАИНОВ И.Г. Гидродинамические методы исследования пласта
ХУСАИНОВА Г.Я. К задаче нагрева призабойной зоны скважины акустическим воз- действием
ХУСАИНОВА Г.Я. Очистка пористой среды растворителями
ЧЕБРОВ Д.В., ГУСЕВ А.А. Камчатские кривые спада амплитуд коды: первый вариант многополосного комплекта кривых и зависимость амплитуд от эпицентрального рас- стояния
ШАРИПОВ Н.С. О многолетних сейсмогеофизических полевых наблюдениях на высокосейсмичной территории Таджикистана
ЯХИНА И.А., СУЛТАНОВ В.Ф. Учет поправок в методе гамма-каротажа в процессе бурения

лекции

КОЧАРЯН Г.Г. Связь излученной энергии с масштабом и генезисом сейсмических бытий	co- 322
РАШИДОВ В.А. Геомагнитные исследования подводных вулканов Тихого океана	331
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	339

Научное издание

Шестнадцатая Уральская молодежная научная школа по геофизике

Сборник научных материалов

Рекомендовано к изданию Ученым советом ГИ УрО РАН Протокол № 2 от 5.03.2015

Компьютерная верстка: Верхоланцев Ф.Г., Верхоланцева Т.В., Каринкина М.И.



Сдано в набор 05.03.2015. Подписано в печать 06.03.2015. Формат 60х90/8. Тираж 100 экз. Заказ № 14

Отпечатано в ООО «Мастер Сувениров» г. Пермь, ул. Тургенева, 25-67. Тел. (342) 215-01-70